



Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América
Facultad de Química e Ingeniería Química
Escuela Profesional de Ingeniería Química

**Propuesta de una planta de tratamiento de
aguas residuales proveniente de la industria
láctea usando la tecnología MBR**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de Ingeniero Químico

AUTOR

Jorge Luis MANDUJANO TABOADA

ASESOR

Mg. Manuel Jesús LUNA HERNÁNDEZ

Lima, Perú

2023



Reconocimiento - No Comercial - Compartir Igual - Sin restricciones adicionales

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Usted puede distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir del documento original de modo no comercial, siempre y cuando se dé crédito al autor del documento y se licencien las nuevas creaciones bajo las mismas condiciones. No se permite aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros a hacer cualquier cosa que permita esta licencia.

Referencia bibliográfica

Mandujano, J. (2023). *Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria láctea usando la tecnología MBR*. [Trabajo de Suficiencia Profesional de pregrado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química, Escuela Profesional de Ingeniería Química]. Repositorio institucional Cybertesis UNMSM.

Metadatos complementarios

Datos de autor	
Nombres y apellidos	Jorge Luis Mandujano Taboada
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	45608562
URL de ORCID	No aplica
Datos de asesor	
Nombres y apellidos	Manuel Jesús Luna Hernández
Tipo de documento de identidad	DNI
Número de documento de identidad	06897800
URL de ORCID	https://orcid.org/0000-0001-7487-8543
Datos del jurado	
Presidente del jurado	
Nombres y apellidos	Fernando Anaya Meléndez
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06550807
Miembro del jurado 1	
Nombres y apellidos	Víctor Manuel Fernández Guzmán
Tipo de documento	DNI
Número de documento de identidad	06690674
Datos de investigación	
Línea de investigación	C.0.2.8. Ingeniería y tecnologías del Medio Ambiente
Grupo de investigación	No aplica
Agencia de financiamiento	Sin financiamiento
Ubicación geográfica de la investigación	País: Perú Departamento: Lima Provincia: Lima Distrito: Ate Urbanización: Los Artesanos Calle: Talabareros 161

	Latitud: -12.06277 Longitud: -76.96464
Año o rango de años en que se realizó la investigación	2023
URL de disciplinas OCDE	Ingeniería de procesos https://purl.org/pe-repo/ocde/ford#2.04.02



UNIVERSIDAD NACIONAL MAYOR DE SAN MARCOS

(Universidad del Perú, DECANA DE AMÉRICA)

FACULTAD DE QUÍMICA E INGENIERÍA QUÍMICA

Central Telefónica: 619-7000

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA QUÍMICA

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Los suscritos miembros del Jurado Calificador nombrados por el señor Presidente del Comité Ejecutivo del "Programa Ciclo Taller de Titulación Profesional por la Modalidad de Tesis y Trabajo de Suficiencia Profesional para La Facultad de Química e Ingeniería Química 2023", bajo la Presidencia del **Mg. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ**; **Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN** (Miembro) y el **Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ** (Asesor); habiendo presentado para tal efecto el **TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL**, titulada "**PROPUESTA DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES PROVENIENTE DE LA INDUSTRIA LÁCTEA USANDO LA TECNOLOGÍA MBR**" después de **SUSTENTADA Y APROBADA** el trabajo de suficiencia profesional elaborado por el bachiller en Ingeniería Química: **JORGE LUIS MANDUJANO TABOADA**; para optar el **TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO QUÍMICO**, acordaron calificarlo con la **NOTA** de:

DIECISIETE

(LETRAS)

(17)

(NÚMEROS)

Ciudad Universitaria, 16 de diciembre del 2023.

[Firma]
Mg. FERNANDO ANAYA MELÉNDEZ
Presidente

[Firma]
Dr. VÍCTOR MANUEL FERNÁNDEZ GUZMÁN
Miembro

[Firma]
Mg. MANUEL JESÚS LUNA HERNÁNDEZ
Asesor

[Firma]
Dr. RUBEN ALFREDO PALOMINO INFANTE
Director de la E.P. de Ingeniería Química





Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Universidad del Perú. Decana de América

Vicerrectorado de Investigación y Posgrado



CERTIFICADO DE SIMILITUD

Yo Luna Hernández Manuel Jesús en mi condición de asesor acreditado con la Resolución Decanal N°000026-2024-D-FQIQ/UNMSM del trabajo de suficiencia profesional, cuyo título es **"Propuesta de una planta de tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria láctea usando la tecnología MBR"**, presentado por el bachiller en Ingeniería Química Mandujano Taboada Jorge Luis para optar el título Profesional de Ingeniero Químico CERTIFICO que se ha cumplido con lo establecido en la Directiva de Originalidad y de Similitud de Trabajos Académicos, de Investigación y Producción Intelectual. Según la revisión, análisis y evaluación mediante el software de similitud textual, el documento evaluado cuenta con el porcentaje de **18%** de similitud, nivel **PERMITIDO** para continuar con los trámites correspondientes y para su **publicación en el repositorio institucional.**

Se emite el presente certificado en cumplimiento de lo establecido en las normas vigentes, como uno de los requisitos para la obtención el título correspondiente.

Firma del Asesor

DNI: 06897800

Nombres y apellidos del asesor:

Luna Hernández Manuel Jesús

Huella
digital



1 AGRADECIMIENTO

El trabajo realizado es resultado de la formación académica recibida, además de la experiencia adquirida durante estos años. Por lo tanto, es necesario agradecer a quienes me abrieron las puertas para desarrollarme en este fascinante mundo del tratamiento del agua.

Agradecer a mi asesor, Mg. Manuel Luna Hernández, quien me brindo las pautas y la retroalimentación necesaria para el desarrollo y la conclusión del presente trabajo.

Agradecer a los ingenieros Marco Vargas, jefe de propuestas y procesos, y Carlos Senosain, director técnico, de la empresa Accuaproduct por su asesoría técnica y sugerencias.

A la empresa Accuaproduct S.A.C por haberme brindado la posibilidad de desarrollarme en el rubro del tratamiento del agua, además de recibir capacitaciones constantes por parte de ellos.

A mis padres Navarro Mandujano e Hilda Taboada, por educarme en solidos valores y por acompañarme en esta nueva etapa de mi vida. También a mis hermanos por su apoyo brindado.

A la escuela de Ingeniería Química de la U.N.M.S.M por brindarme las bases académicas que me permitieron abrirme paso y desarrollarme en mundo laboral.

2 INDICE GENERAL

1	AGRADECIMIENTO.....	1
2	INDICE GENERAL.....	2
3	LISTA DE FIGURAS	6
4	LISTA DE TABLAS.....	10
5	RESUMEN.....	11
6	INTRODUCCIÓN	13
7	LUGAR DONDE SE DESARROLLA EL TRABAJO	14
7.1	INSTITUCION DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD.....	14
7.2	PERIODO DE DURACION DE ACTIVIDAD.....	14
7.3	FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ENTIDAD	14
7.4	RAZON SOCIAL.....	15
7.5	DIRECCION POSTAL	15
7.6	CORREO ELECTRONICO DEL PROFESIONAL A CARGO	15

8	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	16
8.1	DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	16
8.2	JUSTIFICACIÓN.....	17
8.3	OBJETIVO.....	17
9	ANTECEDENTES Y MARCO TEORICO	18
9.1	Antecedentes :	18
9.2	Marco Teórico	20
9.2.1	Procesos de tratamiento de aguas residuales.....	20
9.2.2	Biorreactor de Membrana (BRM).....	27
9.2.3	Configuraciones de membrana.....	28
9.2.4	Generación de Aguas residuales en la industria láctea y sus características 34	
9.2.5	Normativa ambiental peruana	36
9.2.6	Simuladores de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales	36
9.2.7	Proveedores de Membranas	37
10	MATERIALES.....	39

10.1	Equipos.....	39
10.1.1	Software GPS-X.....	39
11	METODOLOGIA	40
11.1	Recepción de datos y establecimiento de objetivos	41
11.2	Diseño del tratamiento primario.....	42
11.3	Diseño del tratamiento secundario	46
11.3.1	Desarrollo del diseño del reactor aerobio asistido por el software GPS-X	51
11.4	Costo de la solución Propuesta.....	66
11.5	Costos operativos	68
12	DISCUSION DE RESULTADOS	75
13	CONCLUSIONES	77
14	RECOMENDACIONES	78
15	REFERENCIAS	79
16	Referencias	79
17	ANEXOS.....	84
17.1	Descripción general de equipos principales propuestos.....	85

17.2	Balance de masa del tratamiento primario	97
		97
17.3	Balance de masa del tratamiento biológico aerobio.....	98
17.4	Diagrama de flujo del sistema propuesto con membranas sumergidas.....	99
17.5	Diagrama de flujo del sistema propuesto con membranas externas.....	100
17.6	Diagrama de tubería e instrumentación de las membranas externas.....	101
17.7	Ficha técnica de membranas Toray	103
17.8	Ficha técnica de membranas Berghof	104

3 LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Planta compacta Rotamat para remoción de sólidos, grasas y arenas.....	21
Figura 2. Tamiz rotativo para remoción de sólidos.	22
Figura 3. Filtro tambor para remoción de sólidos.....	23
Figura 4. Equipo para remoción de solidos por flotación por aire disuelto.....	23
Figura 5. Sistema de lodos activados con reactor de régimen de mezcla completa	24
Figura 6. Sistemas de tratamientos aerobios más representativos	24
Figura 7. Fotografía de filtros multimedia.....	25
Figura 8. Diagrama de flujo típico para el tratamiento de aguas residuales biológico convencional y etapa terciaria.....	25
Figura 9. Diagrama de flujo típico para el tratamiento avanzado proveniente de un tratamiento biológico convencional y etapa terciaria	26
Figura 10. Fotografía de equipo de osmosis inversa de doble etapa.	26
Figura 11. Representación de la tecnología MBR.	27
Figura 12. Esquema comparativo de espacio de requerido de la tecnología de lodos activados convencional vs la tecnología MBR	28
Figura 13. Proceso de filtración en membranas sumergidas	29
Figura 14. Partes principales de un módulo de membranas sumergible TORAY	30
Figura 15. Representación esquemática del funcionamiento de un sistema MBR con membranas sumergidas.....	30
Figura 16. Fotografía de una instalación de una planta de tratamiento residual domestica con membranas sumergidas en un campamento minero.....	31
Figura 17. Proceso de filtración en membranas externas	32

Figura 18. Representación esquemática del funcionamiento de un sistema MBR con membranas externas.....	32
Figura 19. Fotografía de una instalación de una planta de tratamiento residual con membranas externas.....	33
Figura 20. Flujograma del proceso de elaboración de la propuesta.....	41
Figura 21. Diagrama de flujo y consumo de reactivos en el tratamiento primario.....	44
Figura 22. Hoja de cálculo de dimensiones básicas del equipo DAF.....	45
Figura 23. Esquema de vista de perfil de las dimensiones del tanque de membranas.....	49
Figura 24. Esquema de vista de planta de las dimensiones del tanque de membranas	49
Figura 12. Flujograma del proceso de simulación para el diseño del tratamiento biológico.	51
Figura 26. Diagrama del tren de proceso realizado en el software.....	52
Figura 27. Pantalla de ingreso de flujo a tratar	53
Figura 28. Pantalla de ingreso de características del agua residual	53
Figura 29. Pantalla de ingreso de características físicas del tanque biológico aerobio. ..	54
Figura 30. Pantalla de ingreso de características operacionales del tanque de biológico aerobio.....	55
Figura 31. Pantalla de ingreso de características físicas de las membranas	55
Figura 32. Pantalla de ingreso de características operacionales del tanque de membranas	56
Figura 33. Pantalla de ingreso de características operacionales de las membranas	57
Figura 34. Pantalla de resultados de la simulación preliminar	57
Figura 35. Pantalla de resultados de la influencia del tiempo de retención celular sobre la	

DQO y DBO ₅ de salida.	59
Figura 36. Pantalla de resultados de la influencia del caudal de alimentación sobre el flux de operación de las membranas sumergidas.	60
Figura 37. Pantalla de resultados de la influencia del caudal de alimentación sobre el flux de operación de las membranas externas.	60
Figura 38. Pantalla de resultados de la concentración de solidos suspendidos con respecto al volumen del tanque de aireación aerobio.	61
Figura 39. Pantalla de resultados de la concentración de solidos suspendidos en el tanque de membranas con respecto al volumen del tanque de aireación aerobio.	62
Figura 40. Pantalla de resultados de la concentración de oxígeno disuelto con respecto al flujo de ingreso.	63
Figura 41. Pantalla de resultados de la cantidad de aire requerido con respecto al caudal de ingreso.	63
Figura 42. Pantalla de resultados de la simulación con el flujo máximo permitido por las membranas sumergidas.....	64
Figura 43. Distribución del consumo energético en la solución propuesta con membranas sumergidas.	69
Figura 44. Distribución del costo operativo en la solución propuesta con membranas sumergidas.	69
Figura 45. Costo operativo por consumo energético de equipos con Membranas Sumergidas.....	70
Figura 46. Distribución del consumo energético en la solución propuesta con membranas externas.	71

Figura 47. Distribución del costo operativo en la solución propuesta con membranas externas.	71
Figura 48. Costo operativo por consumo energético de equipos con Membranas Externas.....	72
Figura 49. Costo operativo por consumo de productos químicos en el tratamiento primario.....	73

4 LISTA DE TABLAS

Tabla 1	Procesos para remover contaminantes encontrados en aguas residuales	20
Tabla 2	<i>Principales ventas y desventajas de la tecnología MBR</i>	<i>27</i>
Tabla 3	<i>Principales diferencias entre membranas sumergidas vs membranas externas</i>	<i>33</i>
Tabla 4	<i>Principales proveedores de membranas para aplicaciones en MBR</i>	<i>37</i>
Tabla 5	<i>Condiciones standard de operación sugeridas por TORAY</i>	<i>37</i>
Tabla 6		41
Tabla 7	<i>Características del agua residual y porcentajes de remoción del tratamiento primario.</i>	<i>43</i>
Tabla 8	<i>Consideraciones de diseño recomendadas por Toray</i>	<i>46</i>
Tabla 9	<i>Modelo y cantidad de membranas sumergibles seleccionada para el diseño ...</i>	<i>47</i>
Tabla 10	<i>Características del tanque de membranas</i>	<i>48</i>
Tabla 11	<i>Modelo y cantidad de membranas externas seleccionada para el diseño</i>	<i>50</i>
Tabla 12	<i>Bombas requeridas para el sistema con membranas externas</i>	<i>50</i>
Tabla 13	<i>Flujos del proceso biológico.....</i>	<i>53</i>
Tabla 14	<i>Resultados finales de flujos del proceso biológico</i>	<i>65</i>
Tabla 15	<i>Variables operacionales del proceso biológico aerobio</i>	<i>66</i>
Tabla 16	<i>Precio total del sistema de tratamiento propuesto con membranas sumergidas</i>	<i>66</i>
Tabla 18	<i>Precio total del sistema de tratamiento propuesto con membranas externas .</i>	<i>67</i>

5 RESUMEN

El presente trabajo realiza el diseño de un proceso de tratamiento de aguas residuales industriales, utilizando en la etapa biológica la tecnología de membranas (Membrane Biorreactor-MBR). La propuesta fue realizada para una empresa de la industria láctea ubicada en Perú, cuyo principal inconveniente es tratar el agua residual que está generando en exceso debido a un incremento en la producción.

Para el desarrollo del proceso se ha tomado como datos para el diseño los valores promedio dados por el cliente tales como DQO, DBO₅, SST, A&G, nitrógeno total y fosforo total, además se tomó como antecedente del diseño del proceso la actual planta de tratamiento que posee el cliente. Asimismo, para el diseño del proceso biológico aerobio se utilizó el software GPSX v 8.1.

Bajo las condiciones dadas y asumidas, se obtuvo una eficiencia total de remoción de 99,5 % en la demanda química de oxígeno y 99.9 % de la demanda biológica de oxígeno. Usando los lineamientos de diseño de Toray y Berghof se proyectó el uso de un total de 04 membranas (NHP 210-600D) y 06 membranas (MO 104G 66.03 I8 XL V/White) respectivamente.

Además, se presentó un presupuesto que incluye inversión y costo operativo para la implementación del nuevo tren de proceso propuesto:

Tecnología MBR	Inversión (USD)	Costo operativo (\$/m ³)
Membranas sumergidas	\$ 1'336, 000.00 +IGV	1.39
Membranas externas	\$ 1'150, 000.00+IGV	2.42

6 INTRODUCCIÓN

Entre las industrias alimentarias, la industria láctea es considerado uno de los más contaminantes, debido a su gran consumo de agua y generación de aguas residuales, que son la principal fuente de contaminación de este tipo de industria. Los efluentes son generados en los procesos de lavado y limpieza, carga y descarga y derrames y fugas. El proceso de lavado y la limpieza consiste en enjuagar latas de leche, tanques y tuberías con el fin de eliminar los residuos de leche y otras impurezas y de lavado de pisos, y puede generar del 50 al 95% del volumen total del efluente.

Los efluentes de estas industrias se caracterizan por tener altas concentraciones de materia orgánica y nutrientes y se componen principalmente de carbohidratos, proteínas y grasas procedentes de la leche, y por residuales de agentes de limpieza.

Los tratamientos convencionales de estos efluentes incluyen el uso de tratamiento primario para eliminar sólidos, aceites y grasas, tratamiento biológico secundario para eliminar materia orgánica y nutrientes y, en algunos casos, tratamiento terciario como pulido. Sin embargo, varios han informado problemas, como alta producción de espuma, baja sedimentabilidad de lodos, baja resistencia a cargas de choque, dificultades en la eliminación de nutrientes (nitrógeno y fósforo) y problemas en la degradación de grasas y aceites.

A causa de la reducción de la disponibilidad de agua y el aumento de los costos de tratamiento de agua, las industrias están buscando nuevas tecnologías para el tratamiento de las aguas residuales, enfocándose no sólo al cumplimiento de normas ambientales sino también para obtener alta calidad del efluente tratado para su reutilización.

La principal ventaja del MBR es la capacidad de la membrana de retener completamente

la biomasa, con el efecto que la calidad del efluente tratado no depende de las características de sedimentabilidad del lodo.

Además, los MBR pueden funcionar con una mayor concentración de sólidos suspendidos de licor mixto y un mayor tiempo de retención de sólidos que los sistemas convencionales como los lodos activados. Las ventajas de estas condiciones son una menor producción de lodos, lo que provoca una reducción de los costes de tratamiento y eliminación de lodos, y una reducción del volumen del reactor. Debido a la retención por la membrana, componentes de alto peso molecular y/o compuestos recalcitrantes pueden permanecer en el MBR más tiempo, permitiendo el crecimiento de microorganismos que están más aclimatados a estos compuestos y tienen la capacidad de degradarlos. Así, los MBR también presentan mejor eficiencia de eliminación de micro contaminantes, contaminantes orgánicos persistentes y lentamente biodegradables.

Considerando esto, el biorreactor de membrana (MBR) parece ser un proceso prometedor para el tratamiento de aguas residuales de la industria láctea.

El presente trabajo propone una solución para tratar las aguas residuales excedentes generadas en una empresa de la industria láctea ubicada en Perú, debido a un incremento de la producción.

7 LUGAR DONDE SE DESARROLLA EL TRABAJO

7.1 INSTITUCION DONDE SE DESARROLLO LA ACTIVIDAD

Accuaproduct

7.2 PERIODO DE DURACION DE ACTIVIDAD

2 meses

7.3 FINALIDAD Y OBJETIVOS DE LA ENTIDAD

Accuaproduct es una empresa peruana que desarrolla proyectos en el país además de Bolivia, Chile y Ecuador en las áreas del tratamiento de aguas y aguas residuales.

7.4 RAZON SOCIAL

Accuaproduct S.A.C

7.5 DIRECCION POSTAL

Calle Talabarteros N°161. Lima-Ate

7.6 CORREO ELECTRONICO DEL PROFESIONAL A CARGO

jorgeluis.mandujano@unmsm.edu.pe

8 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

8.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

El cliente posee una planta de tratamiento de aguas residuales cuyo tren de procesos consiste en un DAF y un tratamiento aeróbico convencional. Esta planta fue diseñada para tratar 20 m³ por hora.

Actualmente generan un exceso de agua residual que supera la capacidad de tratamiento de su planta actual. El cliente proyecta que el exceso de agua residual en los próximos meses llegará a los 20 m³ por hora, esto por un incremento en su producción.

Con la nueva propuesta, aplicando la tecnología MBR, la empresa podrá cumplir y con los valores del DS 004 2017 categoría 3. Además, entregara una calidad suficiente para un posterior reúso en sus procesos

Dentro de los requerimientos se tiene:

1. Una planta de tratamiento que ocupe menos espacio y además tenga la posibilidad usar el agua tratada en sus procesos productivos en el mediano plazo.
2. Que sea una tecnología que sea manejable y comprensible por sus actuales operadores.

8.2 JUSTIFICACIÓN

Se justifica por lo siguiente:

Dado el estrés hídrico presente en muchos países de Latinoamérica, la tecnología MBR justifica su uso debido a la alta calidad de agua tratada obtenida que puede permitir su reúso directo como también en varias etapas del proceso productivo de una industria, previo tratamiento usando por ejemplo la osmosis inversa.

El presente trabajo está orientado en dar a conocer y ser usado como referencia técnica la aplicación de tecnologías de membranas en el tratamiento de agua residuales industriales a mediana o gran escala.

8.3 OBJETIVO

El presente trabajo de suficiencia se enfoca en:

1. Diseñar, seleccionar equipos y estimar de costos usando la tecnología MBR para tratar los efluentes generados de una empresa de la industria láctea para cumplir los valores señalados en DS 004-2017 categoría 3.
2. Comparar en monto de inversión y consumo energético las tecnologías MBR con la configuración sumergida y externa.

9 ANTECEDENTES Y MARCO TEORICO

9.1 Antecedentes :

(Cordova, 2017) en su trabajo académico busco determinar las condiciones de operación de una planta piloto MBR para tratar efluentes provenientes de una planta papelera de Lima. El diseño de la investigación fue Pretest-Posttest. La duración del pilotaje en planta fue de 30 días, manteniendo un caudal constante de 450L/h. Los resultados alcanzados fueron satisfactorios, donde se reportaron eficiencia de remoción de 98.8% DBO5, 96.3% de DQO y 99.2% en Solidos Suspendidos Totales.

(Carhuaz, 2022) en su trabajo de suficiencia profesional describe los procesos de una planta de tratamiento de aguas residuales domesticas usando la tecnología MBR para su reúso en el riego de cultivos de tallo alto. La capacidad de tratamiento de esta planta es de 300L/s. Operando desde Noviembre -2021 a Enero-2022, al 77% de su capacidad (275L/s) y bajo ciertos parámetros de operación reporto remociones superiores al 99% de DBO5, entre 89-100% de DQO, entre 92-100% de Solidos suspendidos totales, entre otros. La calidad de agua obtenida del proceso es apta para el riego de cultivos de tallo alto.

(Chacon & Ramirez, 2020) en su trabajo de grado desarrollan una propuesta usando el software GPS-X para el tratamiento de aguas residuales proveniente de la industria láctea. A partir de recopilación teórica caracterizaron el efluente de industria Láctea y simularon 3 alternativas de tratamiento a fin de cumplir con la normativa colombiana. Concluyeron que la alternativa con MBR cumplía con todos los objetivos de remoción, además de no requerir gran número de procesos biológicos posteriores o anteriores al MBR.

(Fraga, Garcia, Hooijmans, Miguez, & Brdjanovic, 2017) en su trabajo de investigación evaluaron el desempeño de un bioreactor de membrana a escala piloto para tratar las aguas residuales de la industria láctea a fin de cumplir con los nuevos estándares exigidos por la norma uruguaya. Después del pilotaje y bajo ciertos parámetros de operación reportaron eficiencias de eliminación promedio de DQO, DBO₅ y NH₄-N alrededor de 94.1, 98.1 y 99.6%, respectivamente. El estudio concluye que el agua tratada por la planta piloto MBR cumplió con los nuevos estándares para poder ser vertido en el río Santa Lucía y además se puede considerar para reúso en el proceso industrial.

(Andrade, Motta, & Amaral, 2013) realizaron un estudio donde se utilizó un biorreactor de membrana aeróbico (MBR) a escala laboratorio para el tratamiento de aguas residuales de una industria láctea ubicada en el estado de Minas Gerais (Brasil) y evaluaron dos tiempos de retención hidráulica (TRH), de 6 y 8 horas. Para ambos TRH obtuvieron eficiencias de eliminación de materia orgánica del 99%.

9.2 Marco Teórico

9.2.1 Procesos de tratamiento de aguas residuales

Luego que el agua es usada ya sea en casas, ciudades o industrias, estas son descargadas y llevaran consigo muchos constituyentes contaminantes como podrían ser: materia orgánica, solidos suspendidos, grasas, metales pesados, nutrientes, etc.

Son varios las operaciones y procesos unitarios para el tratamiento de las agua residuales. Su selección dependerá del tipo de contaminantes que en el que nos enfoquemos en remover. Algunos de ellos son:

Tabla 1

Procesos para remover contaminantes encontrados en aguas residuales

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario, o sistema de tratamiento
Solidos en suspensión	Cribado y desarenado Sedimentación Flotación Precipitación química con sedimentación, flotación o filtración Filtración Filtración por membrana
Materia orgánica biodegradable	Variantes de los lodos activados Variaciones de tratamiento con biopelícula Variantes del tratamiento anaerobio Sistemas fisicoquímicos Oxidación química Oxidación avanzada Filtración por membrana
Nitrógeno	Oxidación química (cloración al Breakpoint) Variantes de lodos activados con nitrificación y desnitrificación Variantes de sistemas de película fija con Nitrificación y desnitrificación. Arrastre de amoníaco Intercambio iónico
Fosforo	Precipitación química (adición de sales metálicas, coagulación con cal) Remoción biológica de fosforo
Solidos coloidales y disueltos	Intercambio iónico Tratamiento químico Osmosis inversa Adsorción con carbón

(Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

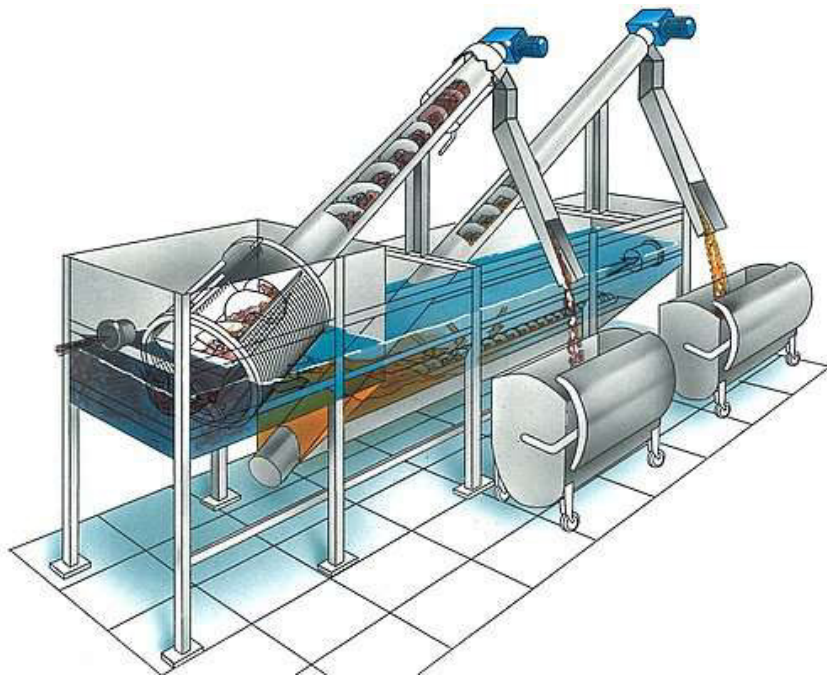
Las operaciones y procesos unitarios están agrupados y son conocidos como:

9.2.1.1 Tratamiento preliminar

Destinado a la remoción de los contaminantes de agua residuales tales como trapos, palos, arenas y grasas que podrían causar problemas de mantenimiento u operación de los procesos y sistemas auxiliares. (Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

Figura 1.

Planta compacta Rotamat para remoción de sólidos, grasas y arenas



<https://www.huber-technology.com/>

Figura 2.

Tamiz rotativo para remoción de sólidos.



<https://toroequipment.com/es/>

9.2.1.2 Tratamiento primario

Destinado a la remoción de una porción de los sólidos suspendidos y materia orgánica del agua residual. Cuando esta remoción por la adición de químicos o filtración es llamado tratamiento primario avanzado. (Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

Figura 3.

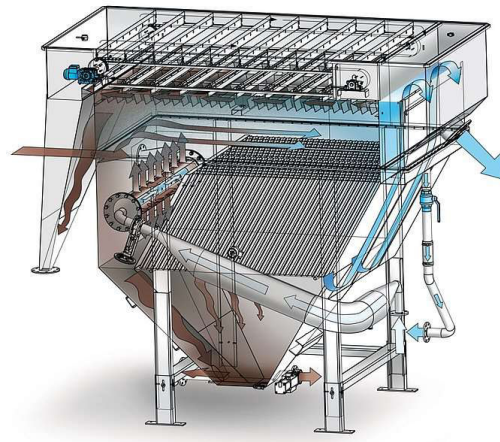
Filtro tambor para remoción de sólidos.



<https://www.hydrotech.se/en/products/drum-filters>

Figura 4.

Equipo para remoción de sólidos por flotación por aire disuelto



<https://www.huber-technology.com/>

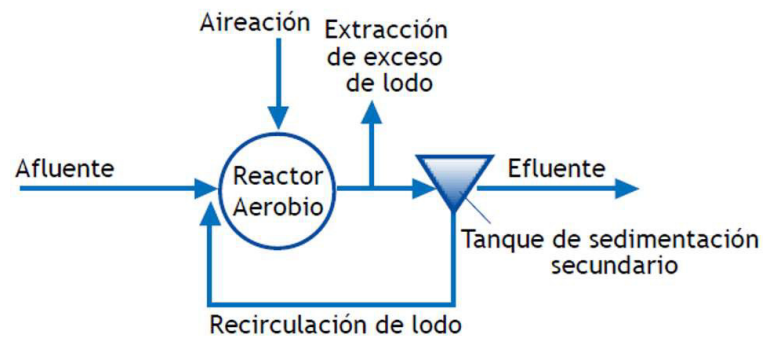
9.2.1.3 Tratamiento secundario

Remoción de materia orgánica biodegradable (disuelto o en suspensión) y sólidos suspendidos. La desinfección es típicamente incluida

en la definición del tratamiento secundario convencional. (Metcalf & Eddy, y otros, 2014). El nitrógeno orgánico y el fosforo también se pueden eliminar en este proceso.

Figura 5.

Sistema de lodos activados con reactor de régimen de mezcla completa



. (Lopez Vasquez, Buitron Mendez, Garcia, & Cervantes, 2017)

Figura 6.

Sistemas de tratamientos aerobios más representativos



9.2.1.4 Tratamiento terciario

Etapas que se encargan de la remoción de sólidos suspendidos residuales (después del tratamiento secundario), usualmente por filtros de medio granular.

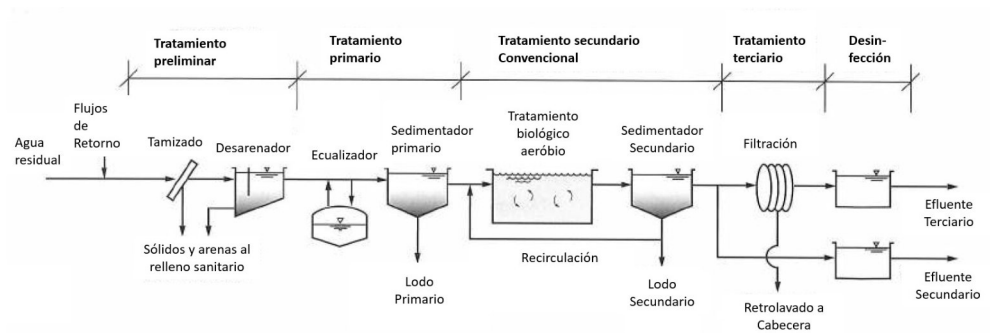
Figura 7.

Fotografía de filtros multimedia



Figura 8.

Diagrama de flujo típico para el tratamiento de aguas residuales biológico convencional y etapa terciaria



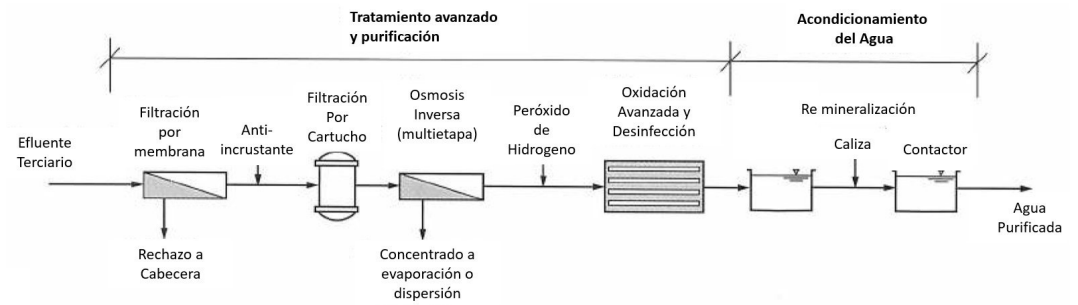
(Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

9.2.1.5 Tratamiento avanzado

Etapa que se encarga de la remoción de materiales suspendidos y disueltos remanentes después de un tratamiento biológico. Aplicaremos esta etapa cuando sea necesario para diversas aplicaciones de reutilización de agua.

Figura 9.

Diagrama de flujo típico para el tratamiento avanzado proveniente de un tratamiento biológico convencional y etapa terciaria



(Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

Figura 10.

Fotografía de equipo de osmosis inversa de doble etapa.

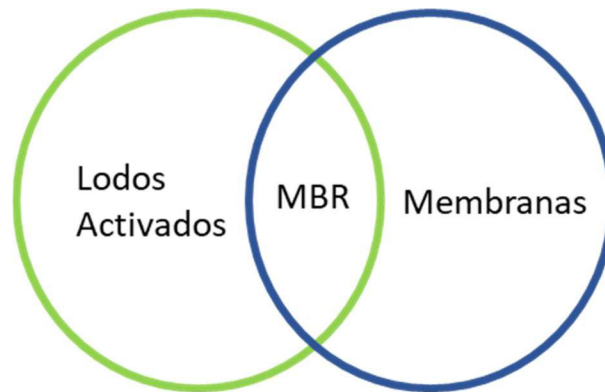


9.2.2 Biorreactor de Membrana (BRM)

Mas conocido en inglés como Membrane Biorreactor (MBR), es un sistema que combina el tratamiento biológico convencional con la tecnología de membranas.

Figura 11.

Representación de la tecnología MBR.



En un sistema MBR el sedimentador convencional es reemplazado por un tanque con membranas sumergidas o por un skid con membranas externas.

Algunas de las ventajas y desventajas del sistema son:

Tabla 2

Principales ventas y desventajas de la tecnología MBR

Ventajas	Desventajas
- Menor área requerida debido a que puede operar con altas concentraciones de licor mezcla (normalmente de 8000-12000mg/L) y la reducido espacio de la membranas comparado con los clarificadores. - Proceso de operación más simple, sin preocuparse por el efecto de las filamentosas de los lodos activados.	- Incremento en el costo energético debido a que las altas concentraciones de solidos suspendidos en el tanque reducen la transferencia de oxígeno. - Necesidad de reemplazar membranas en el futuro. - Consumo de productos químicos para la limpieza y control de ensuciamiento.

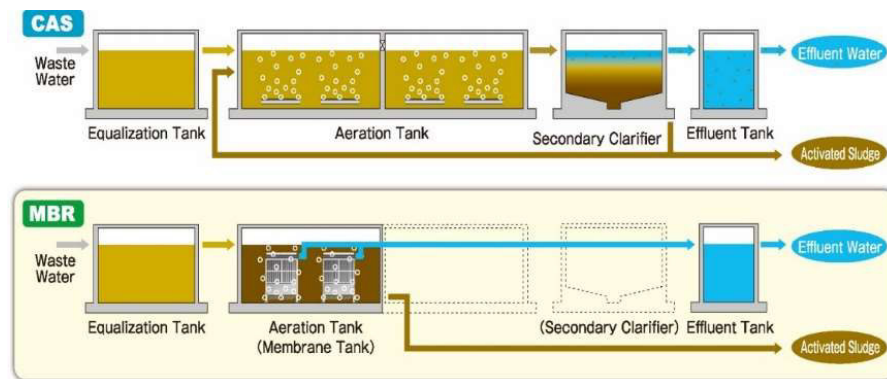
- Buena Calidad de agua recuperada debido a la captura completa de solidos suspendidos a través de la separación por membranas. - Requerimiento bajo de dosis debido a la baja turbidez del agua recuperada.	
---	--

(Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

Debemos tener en cuenta que, aunque los sistemas MBR pueden operar a altas concentraciones de solidos suspendidos (15000 a 25000 mg/L), las concentraciones de diseño en un rango de 8000 a 12000mg/L parecen ser los mas rentables si consideramos todos los factores. (Metcalf & Eddy, y otros, 2014)

Figura 12.

Esquema comparativo de espacio de requerido de la tecnología de lodos activados convencional vs la tecnología MBR



(Kubota, 2017)

9.2.3 Configuraciones de membrana

Hay dos configuraciones principales de proceso MBR: sumergidas o inmersas y externas o con recirculación. La configuración con membrana sumergida es en general menos intensiva en lo que respecta a la demanda de energía que la configuración con membrana externa. (Lopez Vasquez, Buitron Mendez,

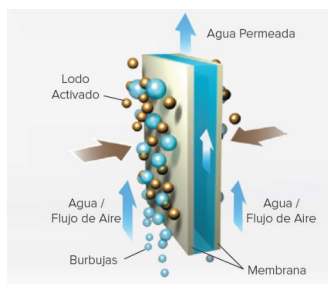
Garcia, & Cervantes, 2017)

9.2.3.1 Membranas sumergidas

El principal componente es la membrana que esta sumergida directamente en un tanque con lodos activados. Las membranas son montadas en módulos (a veces llamadas casetes) que se pueden introducir en el biorreactor. Los módulos están comprendidos de las membranas, estructura de soporte para las membranas, conexiones de entrada y salidas y una estructura de soporte general. Las membranas están sujetas a un vacío (menos de 50kPa) que drena el agua(permeado) a través de la membrana mientras retiene solidos en el reactor. Para minimizar la acumulación de sólidos y ensuciamiento en el exterior de membrana, aire comprimido es introducido a través de un manifold de distribución ubicado en la base del módulo de membranas. A medida que las burbujas de aire se elevan, ocurre la limpieza de la superficie de la membrana. El aire también provee oxígeno para mantener las condiciones aeróbicas y la suspensión de solidos dentro del reactor. (Metcalf & Eddy, y otros, 2014).

Figura 13.

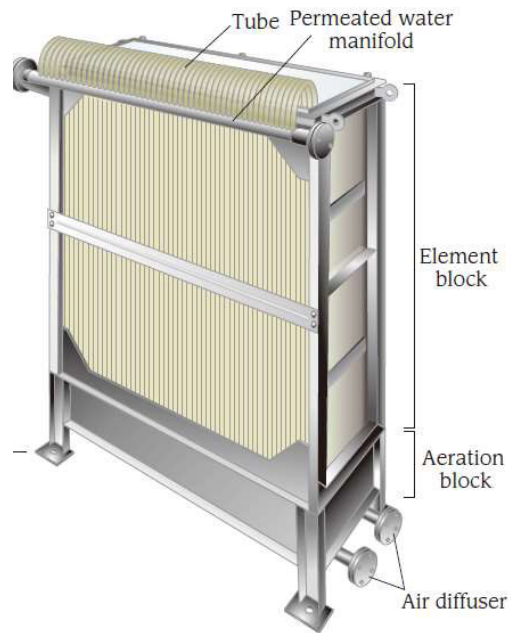
Proceso de filtración en membranas sumergidas



(Toray Industries Inc., 2013)

Figura 14.

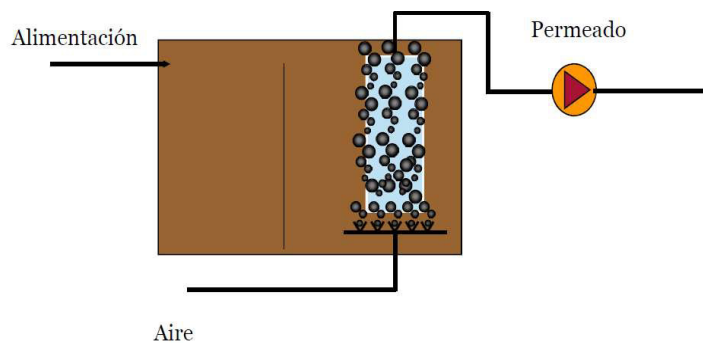
Partes principales de un módulo de membranas sumergible TORAY



. (Toray Industries Inc., 2023)

Figura 15.

Representación esquemática del funcionamiento de un sistema MBR con membranas sumergidas



(Berghof Group, 2013)

Figura 16.

Fotografía de una instalación de una planta de tratamiento residual domestica con membranas sumergidas en un campamento minero.



9.2.3.2 Membranas externas

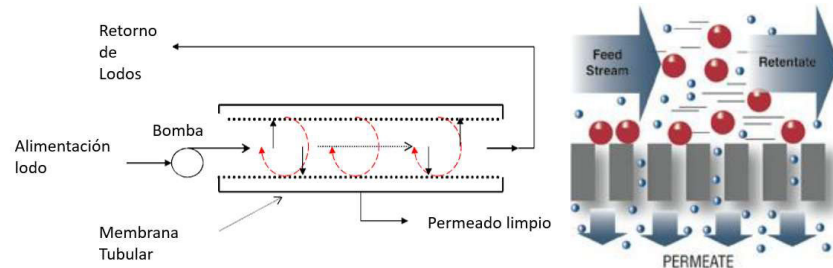
En esta configuración se diferencia principalmente en el modo de operar, en donde la alimentación fluye paralelamente a la superficie (conocido en inglés como “Crossflow”) de la membrana, y por lo tanto genera un barrido permanente que tiende a limitar el depósito de suciedad en la membrana; y/o limpieza periódicas tanto hidráulicas y/o químicas de la membrana. (Lopez Vasquez, Buitron Mendez, Garcia, & Cervantes, 2017).

El modo “Crossflow” de operación genera un esfuerzo cortante sobre la superficie de la membrana, logra, en cierta medida, controlar el

ensuciamiento, pero demanda energía. (Lopez Vasquez, Buitron Mendez, Garcia, & Cervantes, 2017)

Figura 17.

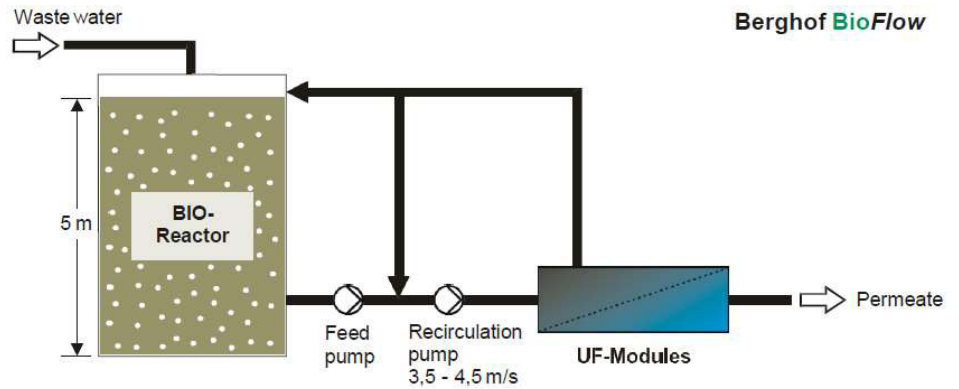
Proceso de filtración en membranas externas



. (Berghof Group, 2013)

Figura 18.

Representación esquemática del funcionamiento de un sistema MBR con membranas externas.



Nota: Configuración Bioflow . (Berghof Group, 2013)

Figura 19.

Fotografía de una instalación de una planta de tratamiento residual con membranas externas



Nota: Caso de estudio industria de alimentos. (Berghof Group, 2013)

Revisado ambas configuraciones podemos listar algunas diferencias entre ambos:

Tabla 3

Principales diferencias entre membranas sumergidas vs membranas externas

Con Membrana Sumergida	Con Membrana Externa
• Costes de aireación altos. Requiere aireación adicional para limpieza de membranas. • Costes de bombeo bajos • Bajo flujo de permeado • Frecuencia de limpieza baja.	• Costes de aireación bajo. No requiere sopladores adicionales para limpieza de membranas • Coste de bombeo alto • Flujo de permeado alto • Costos de operación elevados

• Costes de operación menores • Inversión inicial alta	• Inversión inicial menor.
---	--

(Lopez & Coello, 2014)

9.2.4 Generación de Aguas residuales en la industria láctea y sus características

En las industrias lácteas están involucradas en la fabricación de varios tipos de productos tales como leche, mantequilla, quesos, yogurt, leche en polvo, helados, etc. Los subproductos obtenidos incluyen suero de mantequilla, suero y otros derivados. Una cadena de operaciones que involucra la recepción y almacenamiento de materias primas, el procesamiento de materias primas en productos terminados, el empaque y almacenamiento de productos terminados y un grupo de otras operaciones auxiliares son ejemplos de algunas de la gran variedad de operaciones realizadas en las industrias lácteas. (Carawan, Chambers, Zall, & Wilkowske, 1979)

La industria láctea es una de las más contaminantes, no sólo por el volumen de efluentes generados, sino también por sus características. Genera entre 0.2 y 10 litros de efluente por litro de leche procesada (Vourch, Balannec, Chaufer, & Dorange, 2008) con una generación media de unos 2.5 litros de aguas residuales por litro de leche procesada. (Ramasamy, Gajalakshmi, Sanjeevi, Jithesh, & Abbasi, 2004)

En la industria láctea, se produce una cierta cantidad de agua residual durante el arranque, el equilibrio, la parada y el enjuague de las unidades de procesamiento (agua de lavado, agua de primer enjuague, etc.) (Vourch, Balannec, Chaufer, & Dorange, 2008). Sin embargo, la mayoría de las aguas residuales se producen durante las operaciones de limpieza, especialmente entre cambios de producto cuando se producen diferentes tipos de productos en una unidad de producción específica y

operaciones de limpieza. Los efluentes del procesamiento de lácteos se generan de manera intermitente y los caudales de estos efluentes cambian significativamente. (Kolarski & Nyhuis, 1996)

Por otro lado, la calidad y cantidad del contenido del producto en las aguas residuales lácteas en un momento dado cambia con la aplicación de otro ciclo tecnológico en la línea de procesamiento (Janczukowicz, Zieliński, & Dębowski, 2008). Además, debido a que la industria láctea produce diferentes productos, como leche, mantequilla, yogurt, helados y diversos tipos de postres y quesos, las características de estos efluentes también varían ampliamente tanto en cantidad como en calidad, dependiendo del tipo de sistema. y los métodos de operación utilizados (Vidal, Carvalho, & Lema, 2000)

Las aguas residuales lácteas contienen sólidos lácteos, detergentes, desinfectantes, desechos de leche y agua de limpieza. Se caracteriza por altas concentraciones de nutrientes y contenidos orgánicos e inorgánicos. Varios investigadores de aguas residuales lácteas han informado variaciones significativas en DQO (80–95000 mg/L) y DBO (40–48000 mg/L). La DQO total de las aguas residuales lácteas está influenciada principalmente por la leche, la crema o el suero (Kushwaha, Srivastava, & Mall, 2011) . El pH varía en el rango de 4,7 a 11 (Passeggi, López, & Borzacconi, 2009) mientras que la concentración de sólidos suspendidos varía en el rango de 0.024 a 4.5 g/l, cantidad significativa de nutrientes, 14-830 mg/l de nitrógeno total (Rico Gutierrez, García Encina, & Fdz-Polanco, 1991), y 9-280 mg/l de fósforo total (Gavala, Kopsinis, Skiadas,, Stamatelatou, & Lyberatos, 1999) también se encuentran en las aguas residuales de industrias lácteas. El nitrógeno se origina

principalmente a partir de las proteínas de la leche y está presente en forma de nitrógeno orgánico, como proteínas, urea y ácidos nucleicos, o como iones como NH^{+4} , NO^{-2} y NO^{-3} . El fósforo se encuentra principalmente en formas inorgánicas como el ortofosfato (PO_3^{-4}) y el polifosfato ($\text{P}_2\text{O}_7^{-4}$) así como también en formas orgánicas (Demirel & Yenigun, 2004).

9.2.5 Normativa ambiental peruana

Para el diseño y simulación del presente trabajo se ha tomado como objetivo la siguientes norma:

- Estándares de Calidad Ambiental para agua DS 004 2017-MINAM, Categoría 3

9.2.6 Simuladores de diseño de planta de tratamiento de aguas residuales

Actualmente existen en el mercado softwares disponibles para el diseño y simulación de plantas de tratamiento biológica aerobia. Todas ellas están basadas en los modelos de lodos activados desarrollados por la Asociación Internacional del Agua (IWA, en sus siglas en ingles).

Algunos de los softwares disponibles son:

- BioWin
- LynX
- GPS-X
- Stoa
- WEST

En el presente trabajo emplearemos el software GPS-X versión 8.1 para el

diseño y simulación del tratamiento biológico aerobio.

9.2.7 Proveedores de Membranas

Alrededor del mundo existen muchas marcas de módulos que han sido utilizadas para aplicaciones en biorreactores de membranas (MBR) tanto sumergidas como externas. Algunas de ellas son:

Tabla 4

Principales proveedores de membranas para aplicaciones en MBR

Sumergidas		Externas
Placa plana	Fibra Hueca	Multicanal
Colloide-Subsnake Hyflux-Petaflex Huber-VRM LG Electronics Kubota-ES/EK Microndyn-Nadir Sinap Membrane Toray-MEMBRAY	Asashi Kasei-Microza Canpure-Canfil Ecologix-Ecoflon GE Zenon-ZeeWeed Koch Membrane -Puron Litree-LH3	Berghof-Hyperm; Hyperflux Norit X-flow Orelis Enviroment

(Judd & Judd, 2011)

Asimismo, cada proveedor de membranas tiene una tabla de diseño recomendado.

Tabla 5

Condiciones standard de operación sugeridas por TORAY

Parámetros	Unidad	Condiciones de operación
Solidos Suspendidos en el Licor Mezcla en el tanque de membranas	mg/L	7000-18000 (15000 recomendado)
Solidos Suspendidos en el Licor Mezcla en el tanque biológico aerobio	mg/L	5000-15000 (12000 recomendado)
Tasa de recirculación	-	100-500% del caudal de ingreso
Temperatura agua	°C	<= 40°C
Oxígeno disuelto en el tanque de membranas	mg/L	>=1.0

Oxígeno disuelto en el tanque biológico aerobio	mg/L	≥ 2.0
pH	-	6-8
Aceites y grasas	mg/L	<50 (al ingreso del tanque biológico aerobio)

(Toray Industries Inc., 2013)

10 MATERIALES

10.1 Equipos

El equipo requerido para realizar el presente trabajo ha sido un computador con Microsoft office y con el software GPS-X instalados. Cabe mencionar que durante el año que se realizó el presente trabajo se contaba con la licencia original del software GPS-X versión 8.1.

10.1.1 Software GPS-X

GPS-X es una herramienta de software que permite el modelado matemático, simulación, diseño, optimización y gestión de plantas de tratamiento de aguas residuales domesticas e industriales. El software tiene una interfaz sencilla e intuitiva, además de contar con la licencia para su uso.

En el presente trabajo se hará uso del software para diseñar y simular la parte biológica aerobia del sistema de tratamiento propuesto.

11 METODOLOGIA

La metodología para la elaboración de la propuesta comienza con la recepción de los parámetros de ingreso dados por el cliente. A partir de estos datos se realizará el diseño del sistema de tratamiento. Además, debemos de tener en cuenta la normativa o los valores objetivo que debemos alcanzar con el sistema de tratamiento propuesto.

Posteriormente se diseña tratamiento preliminar, sin embargo, para este caso puntual el agua residual será tomada desde el ecualizador cuya agua ya ha pasado por una etapa de desarenado y cribado.

El diseño del tratamiento primario estará enfocado en un equipo DAF porque es el más eficiente en la remoción de sólidos suspendidos y aceites. La finalidad de este equipo será el de remover la mayor cantidad de solidos suspendidos totales y aceites, además de la remoción parcial de DBO_5 y DQO. En esta etapa estimamos también los consumos de coagulante, agente neutralizante y floculante en el tratamiento primario.

Para el tratamiento secundario, en el caso del diseño de un MBR, calculamos primero el área total de membranas en función a la cantidad promedio de agua residual que se que se tratara. En esta etapa de acuerdo con el modelo de membrana seleccionada y la cantidad de módulos necesarios. Para el caso de las membranas sumergidas se dimensionará el tamaño del tanque de membranas se definirá la cantidad de aire para la limpieza de estas.

Posteriormente haciendo uso de los parámetros del agua residual obtenida después del tratamiento primario desarrollaremos el diseño y simulación del tanque biológico aerobio haciendo uso del software GPS-X versión 8.1. Se realizarán análisis de sensibilidad para determinar los flujos máximos que puede tratar la planta de tratamiento biológica aerobia propuesta.

A continuación en la figura 20, se muestra un flujograma general de la metodología
Figura 20.

Flujograma del proceso de elaboración de la propuesta



11.1 Recepción de datos y establecimiento de objetivos

El cliente indica las características del agua residual con las cuales cuenta y desea que evaluemos un nuevo tren de tratamiento que pueda alcanzar los valores de la categoría 3 indicados en el DS 004 2017 con respecto principalmente a la remoción de materia orgánica.

Tabla 6

Características del agua residual dadas por el cliente y objetivos por evaluar en el diseño

Parámetros	Unidad	Datos Cliente	Objetivo 1 Categoría 3 DS 004 2017	Objetivo 2 Alimentación Osmosis Inversa
DQO	mg/L	6300	40	15-100
DBO₅	mg/L	4255	15	10-20
Sólidos Suspendidos	mg/L	1071	--	--
Aceites y grasas	mg/L	530	5	--
Nitrógeno Total	mg/L	80	--	--
Fosforo Total	mg/L	60	--	--
Temperatura	°C	27	3	--
Conductividad	uS/cm	3130	2500	--
pH	--	8.5	--	--

Tener en cuenta que el parámetro de conductividad normalmente no es reducido en una planta de tratamiento biológico. Sin embargo, como el uso del agua tratada será dentro de las instalaciones del cliente este parámetro no será una exigencia.

Adicionalmente se establece como objetivo 2 los parámetros necesarios para alimentar directamente a una osmosis inversa. Los valores indicados en esta columna fueron consultados con proveedores de membranas de osmosis inversa e ingenieros con experiencia en el diseño de estos sistemas.

11.2 Diseño del tratamiento primario

Se ha seleccionado un tratamiento fisicoquímico, llevado a cabo por un equipo DAF el cual removerá principalmente sólidos suspendidos y aceites y grasas. Se establecerán remociones conservadoras en función a la experiencia y los datos de planta del cliente. En el caso de la DQO y la DBO₅ la remoción es generalmente de la parte particulada.

Para el diseño de esta etapa se ha considerado lo siguiente:

- Los valores para la remoción de DQO y DBO₅ son del 60%, siendo este un valor conservador para el tipo de industria.
- Remoción del 90% de los sólidos suspendidos.
- Remoción del 95% para los aceites y grasas presentes.
- Remoción del 20% del nitrógeno total es removido por esta en forma particulada.
- Remoción del 70% del fosforo total, considerando que se remueve

por el uso de coagulante inorgánico.

- Los valores de alcalinidad, conductividad y temperatura permanecen constantes.
- Se asume una corrección del pH de 8.5 a 7.5
- No existe inhibidores en el agua residual.

Considerando lo descrito líneas arriba se obtienen los siguientes resultados:

Tabla 7

Características del agua residual y porcentajes de remoción del tratamiento primario.

Parámetros	Unidad	Ingreso DAF	Remoción DAF	Salida DAF
DQO	mg/L	6300	60%	2520
DBO₅	mg/L	4255	60%	1702
Solidos Suspendidos	mg/L	1071	90%	107.1
Aceites y grasas	mg/L	530	95%	26.5
Nitrógeno Total	mg/L	80	20%	64
Fosforo Total	mg/L	60	70%	18
Temperatura	°C	27	--	27
Alcalinidad	mg/L	250	--	250
Conductividad	uS/cm	3130	--	3130
pH	--	8.5	--	7.5

Figura 21.

Diagrama de flujo y consumo de reactivos en el tratamiento primario

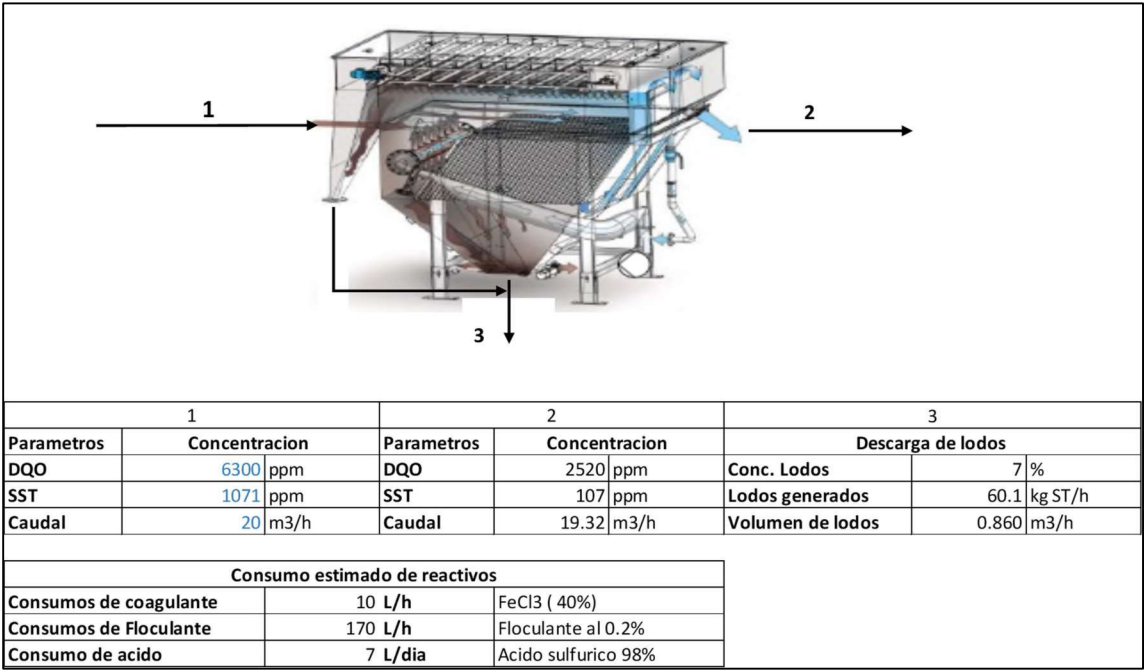


Figura 22.

Hoja de cálculo de dimensiones básicas del equipo DAF.

LAMELLAR DISSOLVED AIR FLOTATION SYSTEM					
Job name : MASTER CALC SHEET Revision #: A Type of proposal : A Calculated by : JLMT Checked by : CSB					
Date : Date : --					
DISSOLVED AIR FLOTATION SYSTEM DESIGN SHEET					
INFLUENT CHARACTERISTICS		Value	Unit		Unit
INLET FLOW RATE		20.000	m3/h	480.000	m3/d
TOTAL CHEMICAL OXYGEN DEMAND, COD		6.300	kgDQO/m3	6.300.000	mg/l
TOTAL BIOCHEMICAL OXYGEN DEMAND, BOD		4.255	kgDBO/m3	4.255.000	mg/l
TOTAL SUSPENDED SOLIDS		1.071	kgSST/m3	1.071.000	mg/l
AVERAGE WATER TEMPERATURE		27.000	°C		
OIL AND GREASE		0.530	kgGYA/m3	530.000	mg/l

Air / Solids formula

$$\frac{A}{S} = \frac{1.3s_a R(P-1)}{QS_a}$$

DIMENSIONING TROUGH FLOTATION RATE		
Air / Solids ratio, A/S	0.010	mL aire/mg SST
Air saturation, s_a	16.41	ml aire / l agua
Absolut pressure, P	90.0	psi
Air Dissolved fraction	0.5	adimensional
Inlet SST, S_a	1,071.000	mg/L
Pressure, p	7.12	atm
Recycle flowrate, R	94.09	m3/d
Flotation rate	66.66666667	L/m2 min
Flotation area required	5.00	m2
Recycle ratio	19.60%	Design OK
Selected flotation area	6.5	m2
Design factor	23%	
Treatment plant flowrate, Q_0	20.000	m3/h
Solids load	3.295	kg SST / m2 / h

COMPRESSOR CALCULATION		
Solids Flux	5,950.00	mg SST / s
Ideal Air flowrate	59.50	ml/s
Compressor capacity	0.21	Nm3/h
Discharge pressure	90.00	Psig

DIMENSIONING TROUGH OIL AND GREASE REDUCTION		
O&G target value	25.000	mg/l effluente
Air / Solids ratio, A/S	0.0244	
Air saturation, s_a	16.41	ml aire / l agua
Absolut pressure, P	90.00	psi
Air Dissolved fraction	0.50	adimensional
Csludge production	0.64	mg/mg de floculante
Floated sludge concentration	0.07	
Pressure, p	7.12	atm
Recycle flowrate, R	229.86	m3/d
Flotation rate	66.67	L/m2 min
Flotation area required	3.00	m2
Recycle ratio	0.48	adimensional
Selected flotation area	6.5	m2
Design factor	54%	

Guideline 0.010 OK (Interval 0.005 to 0.060)

7.12 atm 6.21 bar

Primary sewage flotation (Lamellar) 4.00 m3/m2 h

Guideline 20% max (Interval 5% to 20% depends solids load)

Guideline 35% (Interval 10% to 55% depends flowrate)

Guideline 60 (Interval 12 to 60 mg O&G / l)

7.12 atm

Guideline Chemical sludge (Interval 2% to 6 %, 3% for biomass)

Primary sewage flotation (Lamellar) 4.00 m3/m2 h

OK

Guideline 35% (Interval 10% to 55% depends flowrate)

11.3 Diseño del tratamiento secundario

La segunda etapa está comprendida por la etapa biológica aerobia más la etapa de separación sólido-líquido que corresponde a las membranas.

En la etapa biológica aerobia es donde se llevará a cabo la degradación de la materia orgánica, para diseñar esta etapa contar con ciertos valores además se debe considerar algunos aspectos y recomendaciones.

Tabla 8

Consideraciones de diseño recomendadas por Toray

Aspectos y/o parámetros de diseño	Recomendaciones
Datos mínimos de calidad de agua	Se recomienda tener como mínimo: caudal promedio, temperatura del agua, DBO ₅ , DQO, Sólidos suspendidos, Nitrógeno total y fósforo total.
Tiempo de retención Hidráulica	Podría variar entre 6-8h para aplicaciones de aguas residuales domésticas, pero dependerá del tipo de agua a tratar.
Oxígeno disuelto en tanque aerobio	El valor recomendado es de 2.0mg/L en el tanque de aireación.
Oxígeno disuelto en tanque de membranas	Un valor de mínimo de 1.0mg/L es recomendado en el tanque de membranas.
Tiempo de retención celular	Un valor mínimo de 15 días es recomendado. Tener en cuenta que este valor se recomienda para tener una buena filtrabilidad de los lodos y no garantiza un buen tratamiento biológico ni la calidad del efluente.

. (Toray Industries Inc., 2013)

El volumen correspondiente a la etapa biológica aerobia será definido en la simulación con el software GPS-X v 8.1.

Por otro lado, la cantidad de membranas tanto para las membranas

sumergibles como externas son establecidas de acuerdo con:

- El caudal promedio en m^3/h que se permeara. En el diseño se considera que la cantidad que ingresa al tratamiento aeróbico es igual a la salida.
- Modelo de membrana y cantidad módulos seleccionado, el cual nos dará el área en m^2 de superficie total.
- Flux, definido como el caudal de permeado dividido por el área total de membranas. Unidades en $\text{L}/\text{m}^2.\text{h}$

A) MEMBRANAS SUMERGIDAS

De acuerdo con lo mencionado se ha obtenido los siguientes resultados:

Tabla 9

Modelo y cantidad de membranas sumergibles seleccionada para el diseño

Selección de membranas sumergidas		
Modelo de modulo	NHP210-600D	
Área de membrana por modulo	420	m^2
Cantidad de módulos	4	und.
Área total de membranas	1680	m^2
Flux de operación	13.2	$\text{L}/\text{m}^2.\text{h}$

De acuerdo con el fabricante de membranas TORAY, para esta aplicación industrial el valor de flux obtenido está dentro del rango de operación normal, el cual podría llegar hasta $16 \text{ L}/\text{m}^2.\text{h}$ siendo conservadores.

El volumen del tanque de membranas sumergidas es definido por las dimensiones de los módulos de las membranas y la separación correspondiente entre ellas de acuerdo con lo sugerido por TORAY. Siguiendo esos lineamientos se obtuvo las características mostradas en la tabla 11.

Figura 23

.Módulo de Membrana NHP 210-600D

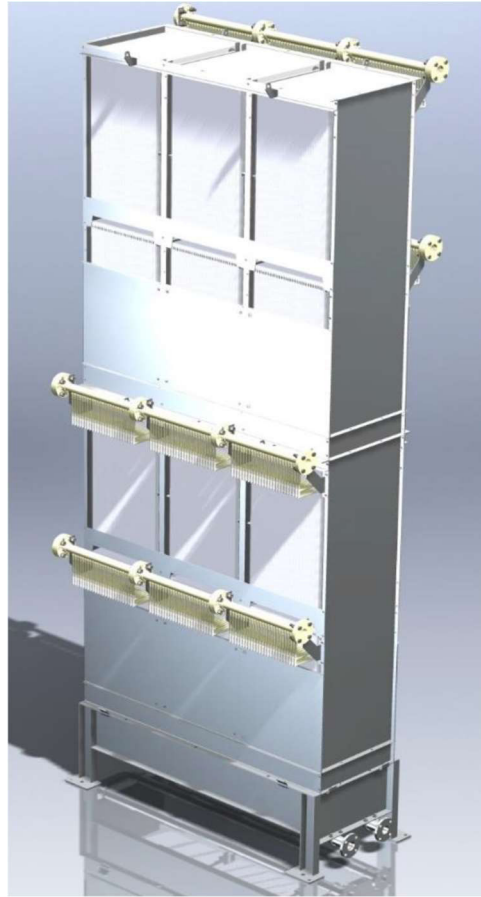


Tabla 10

Características del tanque de membranas

Dimensiones del tanque de membranas y cantidad de aire de Limpieza de membranas		
Largo tanque MBR (L)	6.0	m
Ancho tanque MBR (W)	2.5	m
Alto tanque MBR (Hu)	4.5	m
Borde Libre (BL)	0.5	m
Alto total tanque MBR (H t)	5.0	m
Volumen tanque MBR sin borde libre	67.5	m ³
Volumen tanque MBR total	75.0	m ³
Caudal de aire limpieza para membranas	480	m ³ /h

Figura 24.

Esquema de vista de perfil de las dimensiones del tanque de membranas

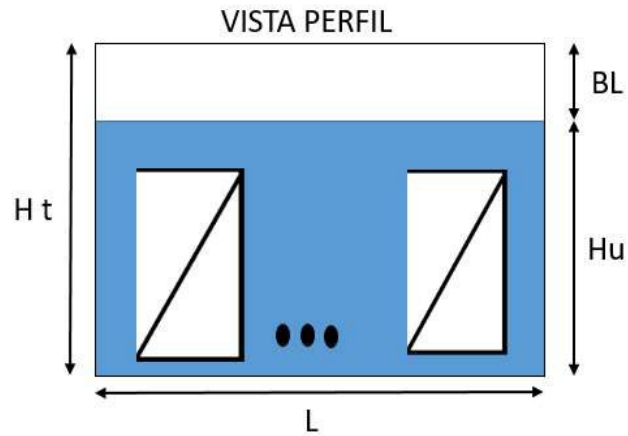
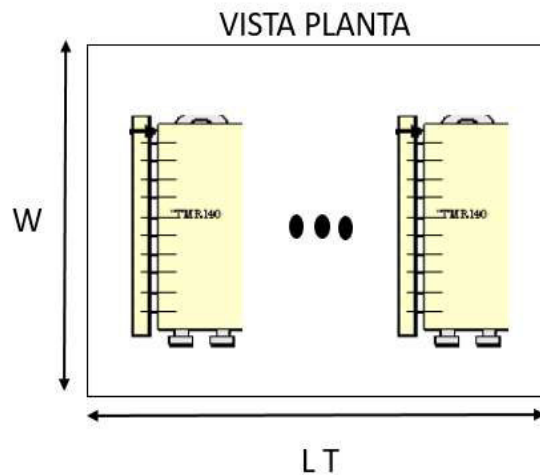


Figura 25.

Esquema de vista de planta de las dimensiones del tanque de membranas



B) MEMBRANAS EXTERNAS

El procedimiento es igual como lo obtenido con las membranas sumergidas. Siguiendo el procedimiento se obtuvo:

Tabla 11

Modelo y cantidad de membranas externas seleccionada para el diseño

Selección de membranas externas		
Modelo de modulo	MO 104G 66.03 I8 XL	
Área de membrana por modulo	53.2	m ²
Cantidad de módulos	6	und.
Área total de membranas	320.4	m ²
Flux de operación	65.5	L/m ² .h

Figura 26.

Módulo de membrana MO 104G 66.03 I8 XL



El proveedor Berghof señala que podría llegar hasta un flux de operación 85 L/m².h. Por otro lado, si bien las membranas externas no requieren de un tanque para su funcionamiento, si requieren de bombas adicionales que se debe de considerar, las cuales deben de tener las siguientes características:

Tabla 12

Bombas requeridas para el sistema con membranas externas

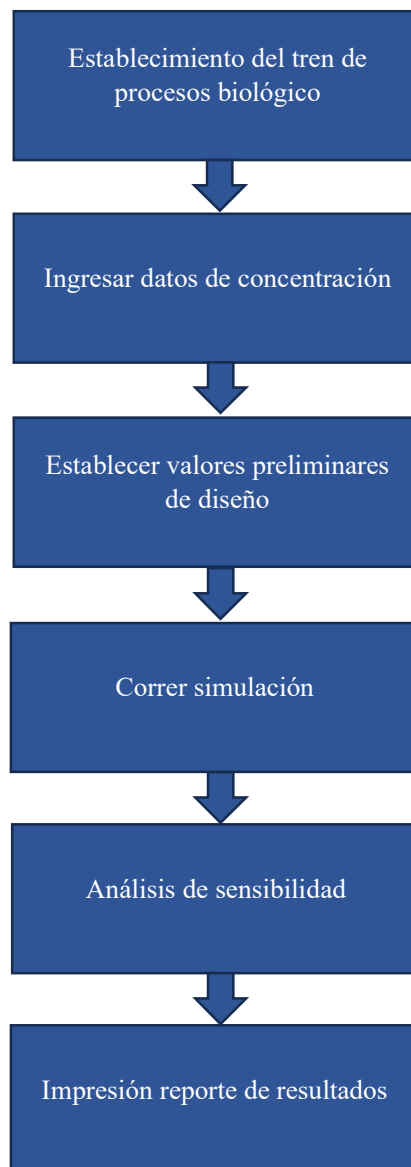
Selección de membrana externas		
Bomba de alimentación	138	m ³ /h @ 2.5 bar
Bomba de recirculación	384	m ³ /h @ 6.7 bar

11.3.1 Desarrollo del diseño del reactor aerobio asistido por el software GPS-X

Una vez definido la etapa previa al tratamiento biológico aerobio, pasamos a dimensionar el reactor aerobio con el uso del software GPS-X v8.1 bajo la siguiente secuencia:

Figura 27.

Flujograma del proceso de simulación para el diseño del tratamiento biológico.



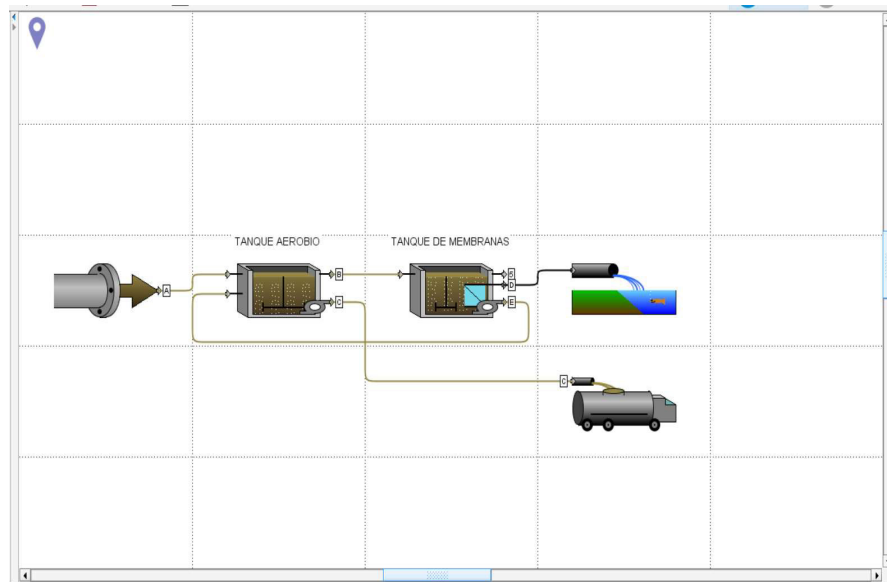
Se debe recalcar que el proceso con membranas externas MBR no se encuentra implementada en el software GPS-X por lo que la simulación se realizara considerando membranas sumergidas. Consideraremos que los resultados en cuanto a degradación de materia orgánica y la separación solido -liquido con las membranas serán los mismos con cualquiera de las membranas.

11.3.1.1 Establecer tren biológico de procesos

Con el uso del software se diseña el siguiente tren de proceso biológico:

Figura 28.

Diagrama del tren de proceso realizado en el software



Siendo las variables de flujo definidas:

Tabla 13

Flujos del proceso biológico

Corriente	Descripción
A	Agua residual proveniente luego del proceso fisicoquímico
B	Rebose de reactor aerobio
C	Descarga de lodos biológicos en exceso
D	Permeado, agua tratada
E	Recirculación

11.3.1.2 Ingresar datos de concentración

Los datos de concentración de entrada para el proceso biológico aerobio son los datos de salida del proceso fisicoquímico señalados.

Figura 29.

Pantalla de ingreso de flujo a tratar

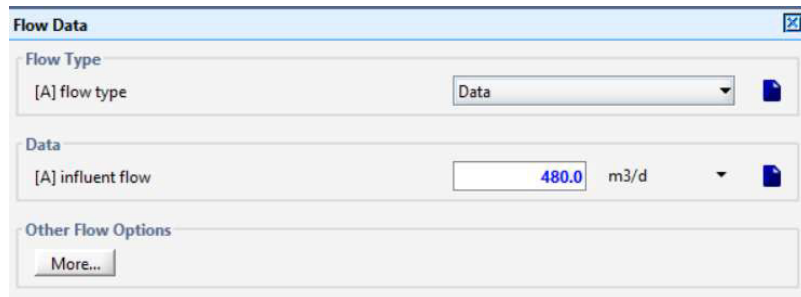


Figura 30.

Pantalla de ingreso de características del agua residual

User Inputs			
- Influent Composition			
cod	total COD	gCOD/m3	2520.0
tkn	total TKN	gN/m3	64.0
tp	total phosphorus	gP/m3	18.0
- Solids Variables			
x	total suspended solids	g/m3	107.1
vss	volatile suspended solids	g/m3	85.7
xiss	total inorganic suspended solids	g/m3	21.4
- Organic Variables			
scod	soluble COD	gCOD/m3	2400.3
cod	total COD	gCOD/m3	2520.0
sbod	soluble cBOD5	gO2/m3	1702.9
bod	total cBOD5	gO2/m3	1765.1

11.3.1.3 Establecer valores preliminares de diseño del tanque biológico aerobio y del tanque de membranas

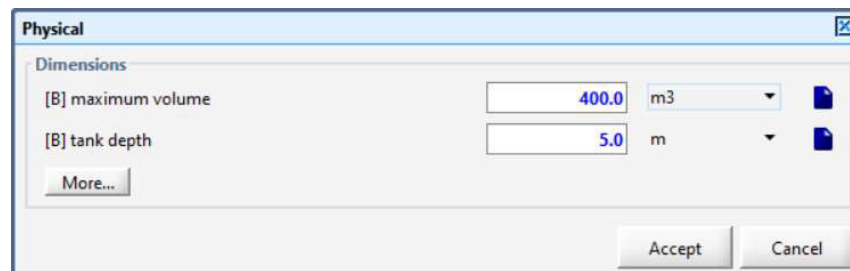
De acuerdo con los resultados y las recomendaciones se procede a definir:

A) Tanque biológico aerobio

Se establece un volumen y una altura para el tanque. La altura es definida de modo que alimente al tanque de membranas por rebose.

Figura 31.

Pantalla de ingreso de características físicas del tanque biológico aerobio.



Physical	
Dimensions	
[B] maximum volume	400.0 m3
[B] tank depth	5.0 m
More...	
Accept Cancel	

Se establece un método de aireación y un valor de oxígeno disuelto que se debe de alcanzar siempre en el tanque aerobio.

Figura 32.

Pantalla de ingreso de características operacionales del tanque de biológico aerobio.

The 'Operational' window contains the following sections and settings:

- General Aeration Setup**
 - [B] aeration method: Diffused Air
 - [B] specify oxygen transfer by...: Using a DO Controller
 - [B] oxygen mass transfer coefficient (clean water): 100.0 1/d
 - More...
- Diffused Aeration**
 - [B] air flow into aeration tank: 300.0 m3/h
 - More...
- Mechanical (Surface Aeration)**
 - [B] aeration power: 10.0 kW
 - More...
- Aeration Control**
 - [B] DO setpoint: 2.0 mgO2/L
 - More...

B) Tanque de membranas

Se ingresan los datos previamente definidos

Figura 33.

Pantalla de ingreso de características físicas de las membranas

The 'Physical - Tank' window contains the following section and settings:

- Tank Dimensions**
 - [5] maximum tank volume: 63.0 m3
 - [5] tank surface area: 15.0 m2
 - More...

Physical - Membrane

Membrane Properties

[5] total membrane surface area	1680.0	m2	
[5] solids capture rate	0.9999	-	
[5] colloidal substrate capture rate	0.1	-	
[5] soluble inert capture rate	0.1	-	

More...

En el caso de la recirculación del tanque de membranas al tanque biológico aerobio se establece el ratio como 4 veces el caudal de ingreso.

Figura 34.

Pantalla de ingreso de características operacionales del tanque de membranas

Operational - Tank

Aeration Setup (Biological)

[5] specify oxygen transfer by...	Entering Airflow	
[5] oxygen mass transfer coefficient (clean water)	100.0	1/d

More...

Diffused Air

[5] air flow into aeration tank	0.0	m3/d
---------------------------------	-----	------

More...

Aeration Control

[5] DO setpoint	2.0	mgO2/L
-----------------	-----	--------

More...

Pumped Flow Control

[E] pumped flow	1920.0	m3/d
[blank] controller	OFF	
[blank] setpoint for control variable	1.0	

More...

Figura 35.

Pantalla de ingreso de características operacionales de las membranas

11.3.1.4 Simulación preliminar

Los resultados de la primera corrida con los datos preliminares ingresados han dado como resultado:

Figura 36.

Pantalla de resultados de la simulación preliminar

			A	B	C	D	E
Flow	m3/d		480.0	2376	23.95	522.7	1920
TSS	mg/L		107.1	8445	8445	1.059	10590
	kg/d		51.39	20070	202.3	0.5537	20340
VSS	mg/L		85.66	7126	7126	0.8947	8947
	kg/d		41.11	16930	170.7	0.4677	17180
Soluble cBOD5	mgO2/L		1703	1.387	1.387	0.4023	0.4031
	kg/d		817.4	3.295	0.03321	0.2103	0.7739
cBOD5	mgO2/L		1765	4193	4193	0.9297	5275
	kg/d		847.2	9962	100.4	0.486	10130
Soluble COD	mgCOD/L		2400	26.54	26.54	22.45	24.88
	kg/d		1152	63.07	0.6357	11.73	47.78
COD	mgCOD/L		2520	10640	10640	23.78	13350
	kg/d		1210	25270	254.8	12.43	25640
TN	mgN/L		64.0	754.1	754.1	5.282	947.0
	kg/d		30.72	1792	18.06	2.761	1818
TP	mgP/L		18.0	205.9	205.9	7.095	257.6
	kg/d		8.64	489.3	4.932	3.709	494.6
Dissolved Oxygen	mgO2/L		0.0	2.0	2.0	2.911	2.911
	kg/d		0.0	4.752	0.0479	1.522	5.59
Alkalinity	mgCaCO3/L		250.0	105.7	105.7	93.49	93.49
	kg/d		-	-	-	-	-
pH	-		7.5	7.265	7.265	7.309	7.309

Según los resultados observados en la columna D de la Figura 34, se puede indicar que se cumple el objetivo de cumplir con los valores del DS 004-2017 (Categoría-3). Sin embargo, los valores de sólidos suspendidos de la columna B y E indican que aun está debajo de la concentración recomendada por lo que se podría reducir el volumen. Por otro lado, tener en cuenta que el flux de operación la membrana también está por debajo del recomendado por el fabricante por lo que podría filtrar aún más agua.

11.3.1.5 Análisis de sensibilidad

Como hemos mencionado líneas arriba aún hay mejoras por realizar en cuanto al diseño de la etapa biológica aerobia. En esta etapa de la simulación estableceremos:

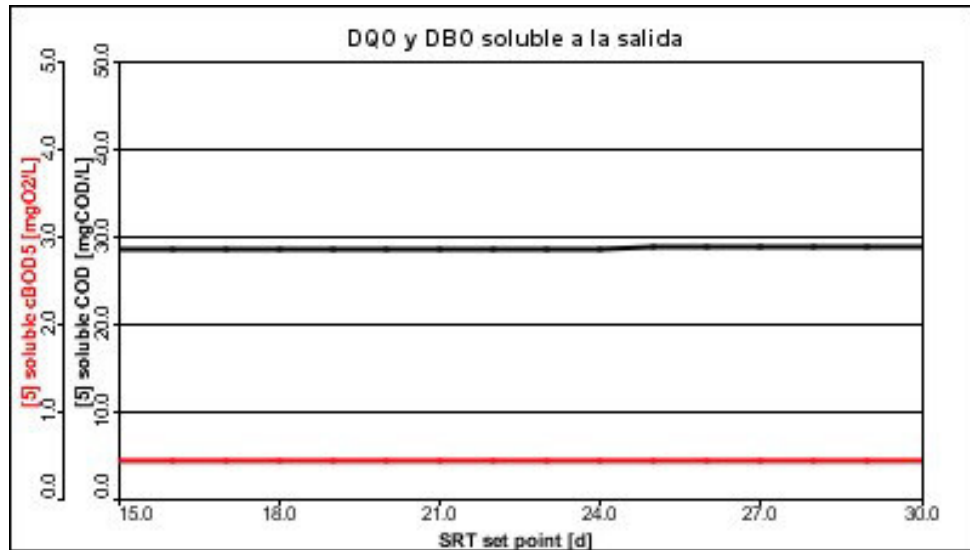
- Tiempo de retención celular
- Caudal máximo de agua a tratar por el sistema.
- Volumen del tanque biológico aerobio
- Caudal de aire requerido para el tanque biológico aerobio

A) Tiempo de retención celular

De acuerdo con lo recomendado se establece como tiempo de retención celular mínimo de 15 días y como máximo se establecerá un valor de 30 días. Se observará si influye en los valores de salida de DQO y DBO₅:

Figura 37.

Pantalla de resultados de la influencia del tiempo de retención celular sobre la DQO y DBO₅ de salida.



Se observa que se obtiene valores casi constantes de 28.45 y 0.41 de DQO y DBO₅ respectivamente, por lo que para el caso como valor conservador se adoptara un valor de 20 días de tiempo de retención celular para el resto de las simulaciones.

B) Caudal máximo de agua tratada por el sistema

Con la cantidad de membranas establecidas para un caudal promedio se obtuvo un valor de flux de operación por debajo de los 16L/m².h recomendado por el fabricante de membranas. Ello nos da una holgura para poder filtrar aún más agua sin sobrepasar el valor del flux recomendado. Se ha realizado una variación manual del flujo de ingreso desde los 480m³/día hasta los 600m³/día.

Figura 38.

Pantalla de resultados de la influencia del caudal de alimentación sobre el flux de operación de las membranas sumergidas.

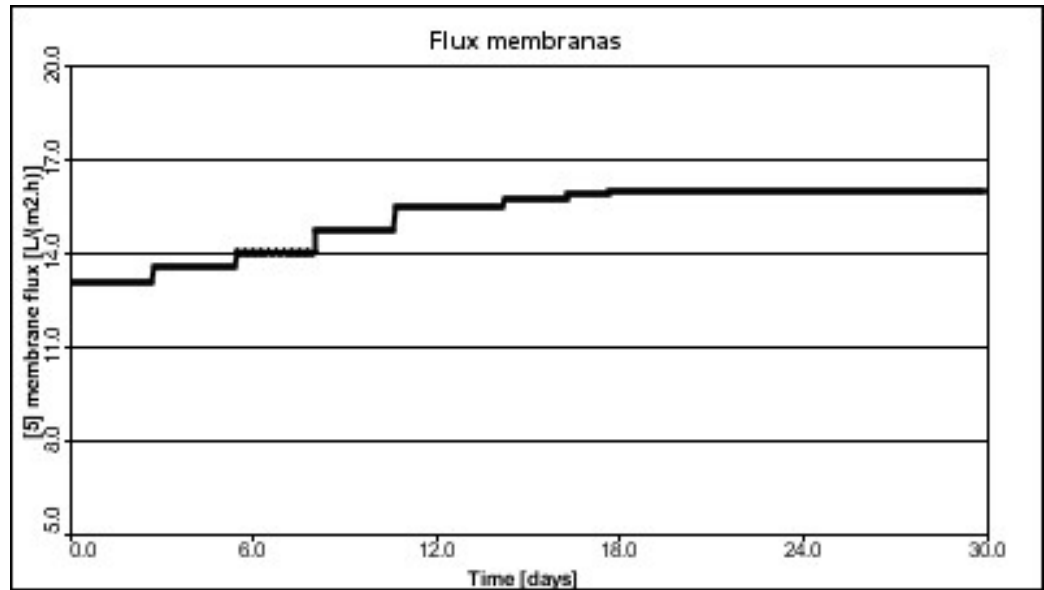
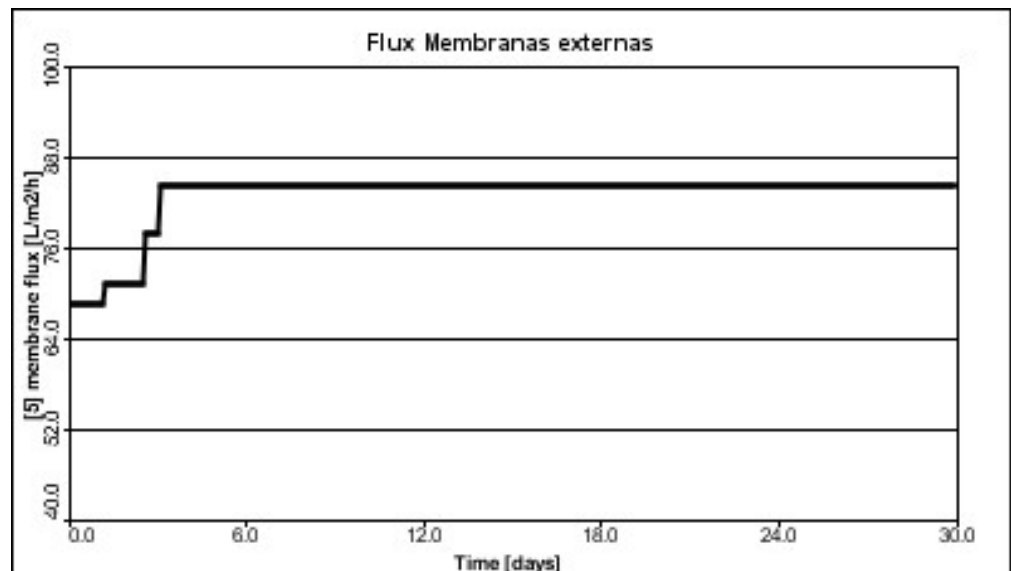


Figura 39.

Pantalla de resultados de la influencia del caudal de alimentación sobre el flux de operación de las membranas externas.



El valor de flux obtenido para una alimentación de $600\text{m}^3/\text{día}$ es de $15.94\text{ L/m}^2.\text{h}$, siendo ligeramente inferior al valor recomendado. Este dato es relevante dado que en una planta de tratamiento de agua residual industrial suele incrementarse esporádicamente o quizá de manera permanente la cantidad de agua residual generada, por lo que es importante establecer los límites para que el cliente no tenga problemas en la operación en el futuro.

Por otro lado, realizando unos cambios en el software se evalúa el Flux de operación al caudal máximo con membranas externas dando como resultado $84.0\text{L/m}^2.\text{h}$ estando dentro del rango sugerido por el fabricante.

C) Volumen del tanque biológico aerobio

Se ha determinado el volumen adecuado teniendo en cuenta caudal máximo restringido por las membranas, además de las concentraciones de sólidos suspendidos recomendados para los tanques biológicos aerobios y tanque de membranas. Con ello se obtienen:

Figura 40.

Pantalla de resultados de la concentración de sólidos suspendidos con respecto al volumen del tanque de aireación aerobio.

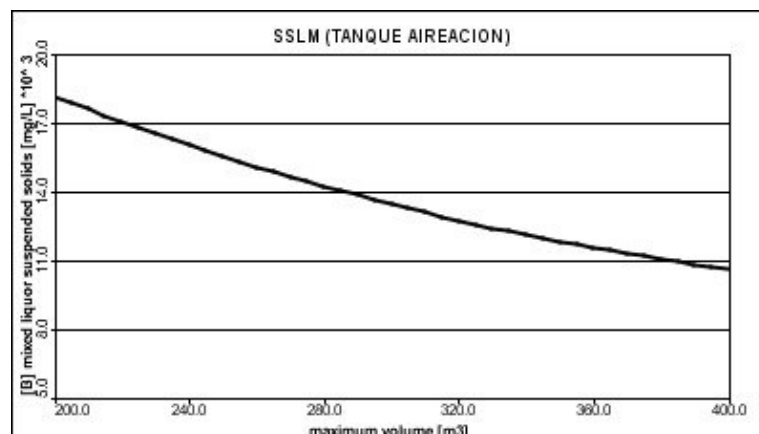
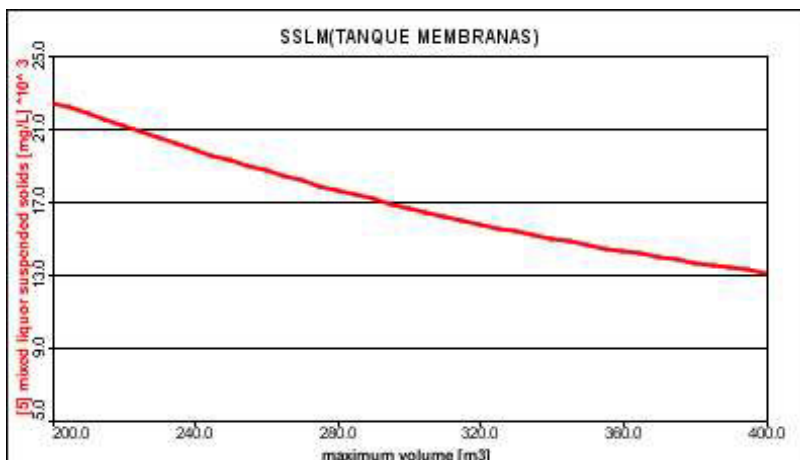


Figura 41.

Pantalla de resultados de la concentración de solidos suspendidos en el tanque de membranas con respecto al volumen del tanque de aireación aerobio.



En ambos gráficos se observa que para un volumen de reactor de 345m^3 , se obtiene valores de solidos suspendidos de 11920.0 mg/L y 14730.0mg/L en el tanque biológico aerobio y el tanque de membranas respectivamente. Estos valores están dentro de lo recomendado por el fabricante de membranas. Por lo tanto, se adopta el volumen de 345m^3 como conveniente para el proceso.

D) Caudal de aire requerido para el tanque biológico aerobio

Una vez definido el volumen del tanque biológico, es de vital importancia definir la cantidad de aire para tanto para el caudal promedio como para el máximo caudal, siempre asegurando 2mg/L de oxígeno disuelto dentro del tanque. Teniendo en cuenta lo mencionado se obtiene:

Figura 42.

Pantalla de resultados de la concentración de oxígeno disuelto con respecto al flujo de ingreso.

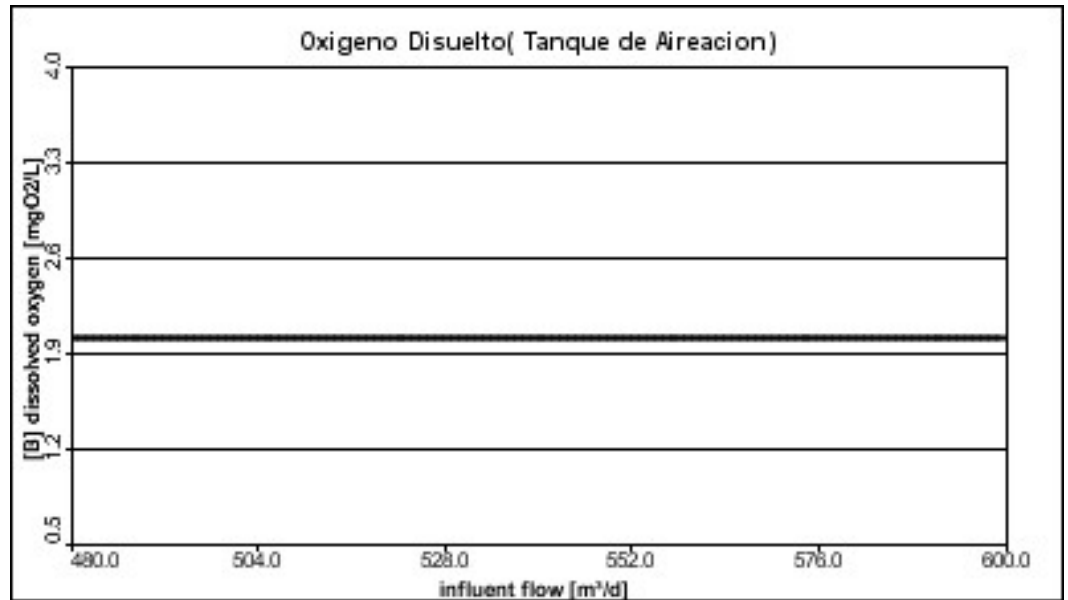
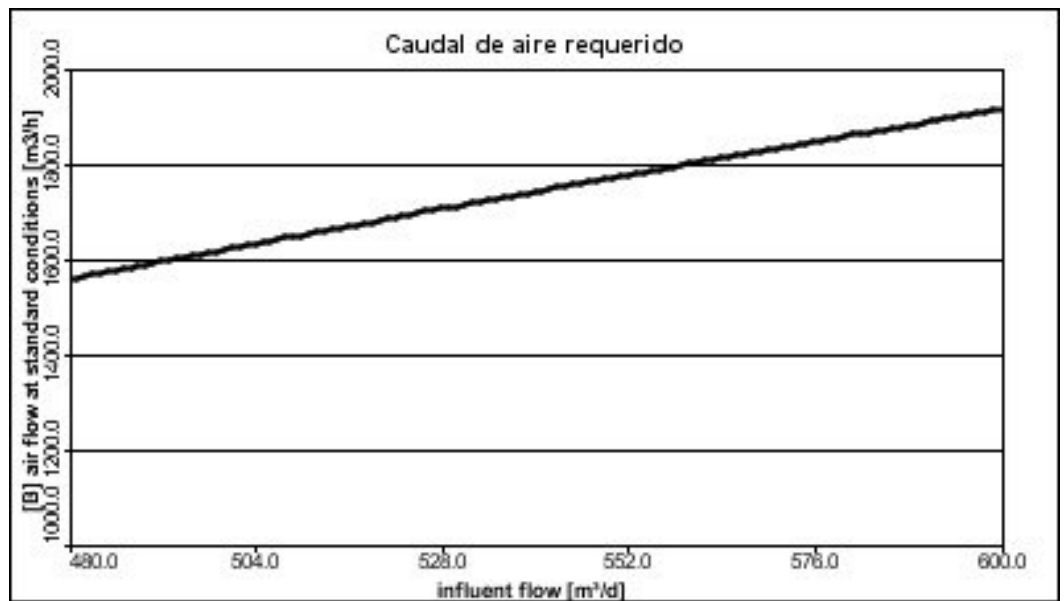


Figura 43.

Pantalla de resultados de la cantidad de aire requerido con respecto al caudal de ingreso.



De la figura 43 se obtiene un valor de 1555m³/h y 1912m³/h (a condiciones estándar 20°C, 1atm) para los caudales de ingreso de 480m³/día y 600m³/día respectivamente. Para cubrir las necesidades de la planta se selecciona un soplador que cubra el máximo requerido.

Figura 44.

Pantalla de resultados de la simulación con el flujo máximo permitido por las membranas sumergidas

			A	B	C	D	E
Flow	m3/d		600.0	2979	21.14	578.9	2400
TSS	mg/L		107.1	11910	11910	1.473	14730
	kg/d		64.24	35480	251.8	0.8524	35340
VSS	mg/L		85.66	10050	10050	1.243	12430
	kg/d		51.39	29950	212.6	0.7197	29840
Soluble cBOD5	mgO2/L		1703	1.591	1.591	0.4344	0.4351
	kg/d		1022	4.74	0.03365	0.2514	1.044
cBOD5	mgO2/L		1765	5886	5886	1.161	7263
	kg/d		1059	17530	124.5	0.6718	17430
Soluble COD	mgCOD/L		2400	29.59	29.59	25.73	28.52
	kg/d		1440	88.14	0.6257	14.89	68.45
COD	mgCOD/L		2520	15000	15000	27.58	18550
	kg/d		1512	44680	317.2	15.96	44520
TN	mgN/L		64.0	1063	1063	4.788	1315
	kg/d		38.4	3168	22.49	2.772	3156
TP	mgP/L		18.0	287.2	287.2	8.165	354.5
	kg/d		10.8	855.6	6.073	4.726	850.8
Dissolved Oxygen	mgO2/L		0.0	2.0	2.0	1.349	1.349
	kg/d		0.0	5.958	0.04229	0.781	3.238
Alkalinity	mgCaCO3/L		250.0	116.9	116.9	113.8	113.8
	kg/d		-	-	-	-	-
pH	-		7.5	7.3	7.3	7.294	7.294

11.3.1.6 Reporte de resultados

Una vez definido los volúmenes de tanque y caudales de aire para nuestra planta podemos simular nuevamente. Si bien se ha simulado para condiciones máximas a fin de cubrir picos o incrementos de caudal, los resultados finales están

basados en el caudal promedio solicitado por el cliente. Dicho esto, se obtuvo los siguientes resultados principales:

Variables de flujo:

Tabla 14

Resultados finales de flujos del proceso biológico

		A	B	C	D	E
Flow	m ³ /d	480.0	2379	21.13	458.9	1920
TSS	mg/L	107.1	9465	9465	1.167	11670
	kg/d	51.39	22520	200.0	0.5355	22410
VSS	mg/L	85.66	7988	7988	0.9851	9851
	kg/d	41.11	19000	168.8	0.452	18910
Soluble cBOD5	mgO ₂ /L	1703	1.49	1.49	0.4174	0.4182
	kg/d	817.4	3.544	0.03149	0.1915	0.8029
cBOD5	mgO ₂ /L	1765	4674	4674	0.9922	5748
	kg/d	847.2	11120	98.78	0.4553	11040
Soluble COD	mgCOD/L	2400	29.43	29.43	25.68	28.47
	kg/d	1152	70.01	0.622	11.79	54.67
COD	mgCOD/L	2520	11920	11920	27.15	14700
	kg/d	1210	28360	252.0	12.46	28230
TN	mgN/L	64.0	845.6	845.6	5.678	1044
	kg/d	30.72	2012	17.87	2.606	2005
TP	mgP/L	18.0	229.7	229.7	8.248	282.6
	kg/d	8.64	546.5	4.855	3.785	542.7
Disolved Oxygen	mgO ₂ /L	0.0	2.0	2.0	2.341	2.341
	kg/d	0.0	4.758	0.04227	1.074	4.494
Alkalinity	mgCaCO ₃ /L	250.0	116.9	116.9	107.8	107.8
	kg/d	-	-	-	-	-
pH	-	7.5	7.307	7.307	7.327	7.327

Variables operacionales del tanque biológico aerobio:

Tabla 15*Variables operacionales del proceso biológico aerobio*

VARIABLES	UNIDADES	TANQUE AEROBIO
Volume	m ³	345.0
HRT	h	17.25
F to M Ratio	kgBOD ₅ /(kgMLVSS.d)	0.044
Vol. Org. Loading	kgBOD ₅ /(m ³ .d)	2.456
RAS Recycle Ratio	%	400.0

11.4 Costo de la solución Propuesta

De acuerdo con las proyecciones y diseño se procede a seleccionar los equipos y tanques adecuados para la aplicación. Posterior a la selección de equipos se elabora un presupuesto que incluya tanto el equipamiento como el servicio de instalación.

Tabla 16*Precio total del sistema de tratamiento propuesto con membranas sumergidas*

Equipamiento	Cantidad	Precio
Bombas de Alimentación DAF	2	✓
Sistema de coagulación-floculación	Glb	✓
Equipo separación solido-liquido (DAF)	Glb	✓
Bombas sumergibles -Alimentación tanque biológico aerobio	2	✓
Tanque biológico aerobio en PRFV	1	✓
Difusores de burbuja fina	Glb	✓
Sopladores- tanque biológico aerobio	2	✓
Set de Membranas (membranas +tanque metálico+ accesorios)	Glb	✓
Sopladores – Limpieza de membranas sumergidas	2	✓

Bombas sumergibles -recirculación y descarga de lodos	2	✓
Bombas de cavidad progresiva - Permeado de membranas	2	✓
Bomba de limpieza +tanque 2500L	1	✓
Instrumentación	Glb	✓
Tablero de potencia y control	1	✓
Materiales de instalación y estructuras	1	✓
Servicio de Ingeniería	Glb	✓
Servicios de instalación, Comisionamiento y puesta en marcha	Glb	✓
Seguimiento del proceso por 30 días.	Glb	✓
PRECIO TOTAL EQUIPOS + SERVICIOS		1'340, 000.00 USD +IGV

Tabla 17

Precio total del sistema de tratamiento propuesto con membranas externas

Equipamiento	Cantidad	Precio
Bombas de Alimentación DAF	2	✓
Sistema de coagulación-floculación	Glb	✓
Equipo separación solido-liquido (DAF)	Glb	✓
Bombas sumergibles -Alimentación tanque biológico aerobio	2	✓
Tanque biológico aerobio en PRFV	1	✓
Difusores de burbuja fina	Glb	✓
Sopladores- tanque biológico aerobio	2	✓
Skid de Membranas externas+ instrumentación	Glb	✓
Bombas centrifugas -recirculación	2	✓
Bombas centrifugas -alimentación membranas	2	✓
Instrumentación de la planta	Glb	✓
Tablero de potencia y control	1	✓
Materiales de instalación y estructuras	1	✓
Servicio de Ingeniería	Glb	✓

Servicios de instalación, Comisionamiento y puesta en marcha	Glb	✓
Seguimiento del proceso por 30 días.	Glb	✓
PRECIO TOTAL EQUIPOS + SERVICIOS		1'150, 000.00 USD +IGV

Los precios mostrados tienen un alcance restringido. Están fuera del alcance de esta propuesta principalmente:

- Obras civiles como losas y pozos.
- Transporte de los equipos hacia la planta del cliente. Todos los equipos son entregados en nuestros almacenes puestos sobre camión.
- Costos de grúas para la instalación y ubicación de equipos y tanques.
- Productos químicos para el arranque y operación.
- Permisos de cualquier índole.

11.5 Costos operativos

A partir de los equipos seleccionados se ha elaborado el costo operativo por consumo energético y consumo de productos químicos a nivel referencial.

Para la elaboración del consumo energético se ha tomado en cuenta los equipos principales del sistema.

Para la elaboración del costo operativo por consumo de productos químicos se ha considerado solamente los consumos del tratamiento primario porque son los más significativos dentro de todo el proceso.

Figura 45.

Distribución del consumo energético en la solución propuesta con membranas sumergidas.

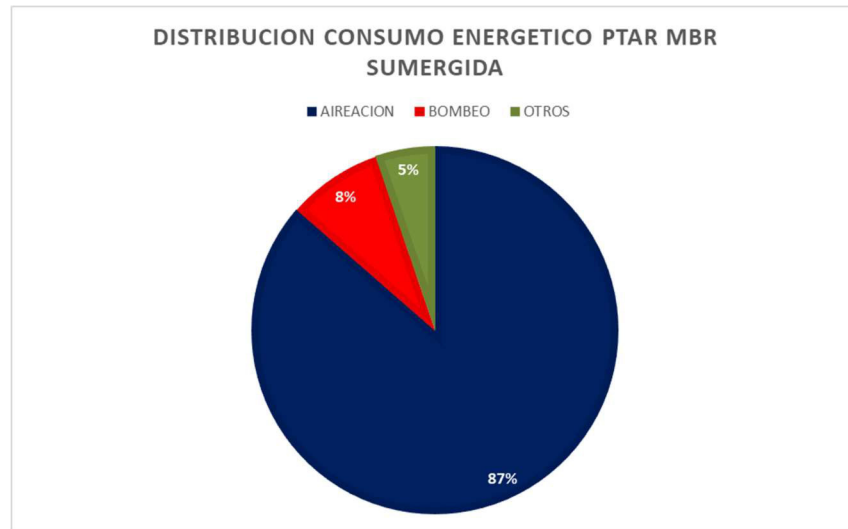


Figura 46.

Distribución del costo operativo en la solución propuesta con membranas sumergidas.

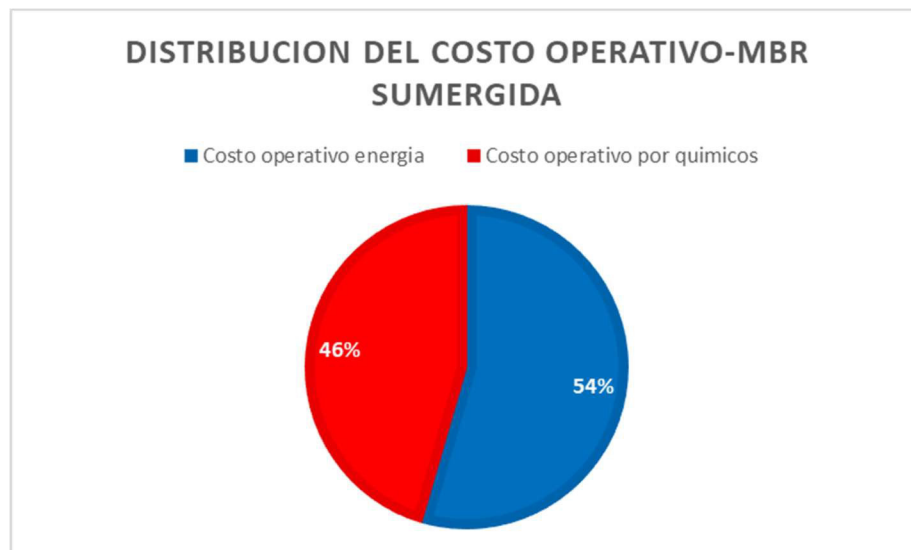


Figura 47.

Costo operativo por consumo energético de equipos con Membranas Sumergidas.

COSTO OPERATIVO (REFERENCIAL)									
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES-MEMBRANAS SUMERGIDAS									
CAUDAL DE AGUA TRATADA				20.00	m3/h				
Horas por día:	24	h		480	m3/día				
Días por mes	30	d		14400	m3/mes				
Días por año:	360	d		172800	m3/año				
Precio energía:	0.2	U\$S/kW-h (dato cliente)							
CONSUMO ENERGETICO									
	Potencia por unidad	Potencia consumida por unidad	Unidad Instalada	Potencia Instalada (Kw)	Unidad en operaci	Horas de funcionamie nto(hr/d)	Días de funcionamie nto (	Horas totales /mes	Consumo (kW-h) /mes
Tratamiento primario									
Bomba de alimentacion	1.50	0.93	2.00	3.00	1.00	24.00	30.00	720.00	669.60
Bomba dosificadora coagulante	0.04	0.04	1.00	0.04	1.00	24.00	30.00	720.00	28.80
Bomba dosificadora acido	0.01	0.01	1.00	0.01	1.00	12.00	30.00	360.00	5.04
Bomba dosificadora Floculante	0.37	0.37	1.00	0.37	1.00	24.00	30.00	720.00	266.40
Preparador de polimero	1.10	1.10	1.00	1.10	1.00	12.00	30.00	360.00	396.00
Equipo DAF	5.23	3.41	1.00	5.23	1.00	24.00	30.00	720.00	2455.20
Bomba de lodos	1.50	0.35	2.00	3.00	1.00	22.00	30.00	660.00	231.00
Tanque biologico aerobio									
Bomba sumergibles alimentacion	1.50	0.93	2.00	3.00	1.00	24.00	30.00	720.00	669.60
Sopladores reactor	75.00	51.62	2.00	150.00	1.00	24.00	30.00	720.00	37166.40
Proceso de filtracion-sumergidas									
Bombas de permeado	1.50	0.73	2.00	3.00	2.00	24.00	30.00	720.00	1051.20
Bombas de recirculacion	5.50	2.30	2.00	11.00	1.00	24.00	30.00	720.00	1656.00
Sopladores membranas	18.50	13.96	2.00	37.00	1.00	24.00	30.00	720.00	10051.20
Bomba centrifuga CIP	0.37	0.37	1.00	0.37	1.00	1.00	1.00	1.00	0.37
				217.12	kW				54646.81 kW-h/mes
COSTO OPERATIVO TOTAL DEL PROCESO (DAF +BIOLOGICO+MEMBRANAS SUMERGIDAS)									
Requerimiento de Energía				3.795	kW-h/m3				
Costo mensual energia				10929	U\$S/mes				
Costo Operativo por equipos				0.76	U\$S/m3				

Figura 48.

Distribución del consumo energético en la solución propuesta con membranas externas.

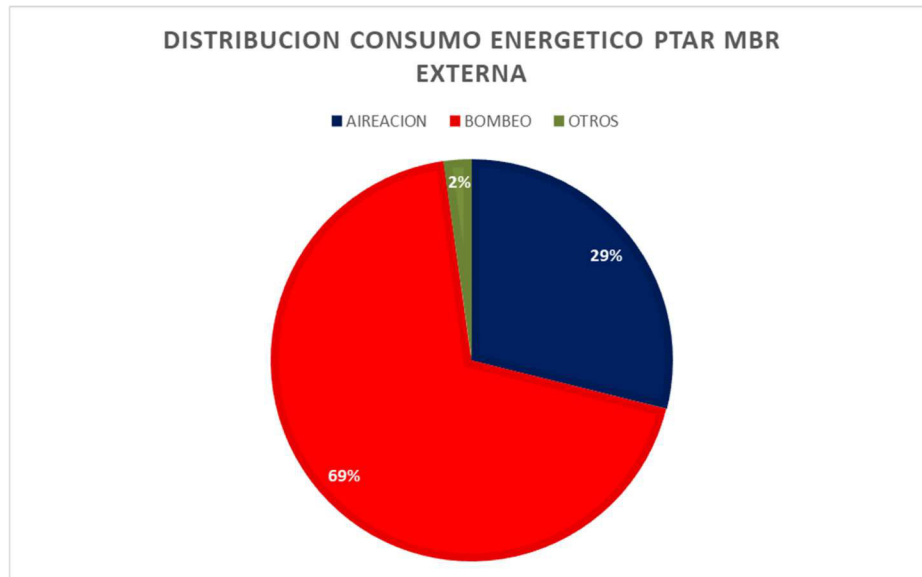


Figura 49.

Distribución del costo operativo en la solución propuesta con membranas externas.

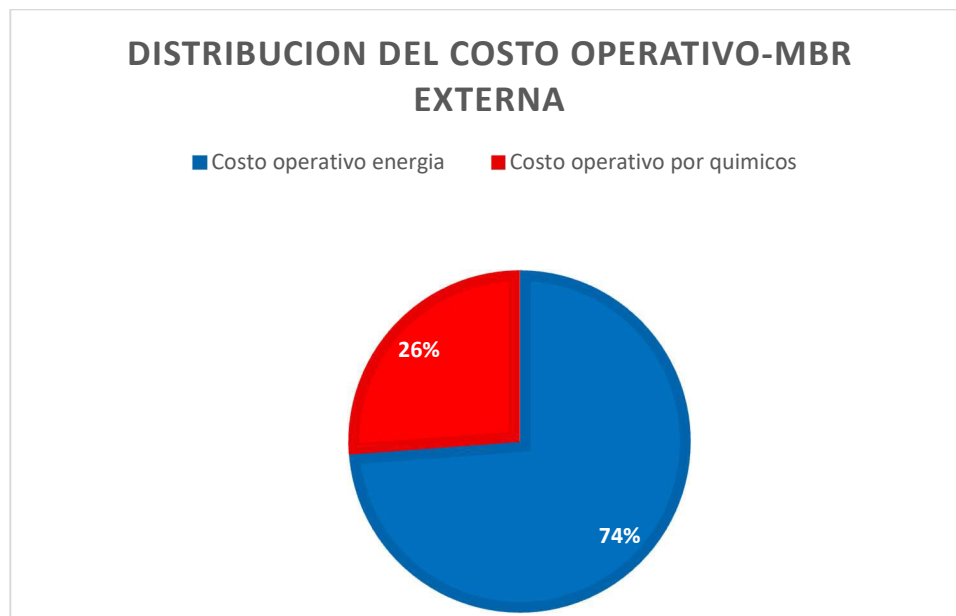


Figura 50.

Costo operativo por consumo energético de equipos con Membranas Externas.

COSTO OPERATIVO (REFERENCIAL)									
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES INDUSTRIALES-MEMBRANAS EXTERNAS									
CAUDAL DE AGUA TRATADA			20.00		m3/h				
Horas por día:	24	h	480		m3/día				
Días por mes	30	d	14400		m3/mes				
Días por año:	360	d	172800		m3/año				
Precio energia:	0.2	US\$/kW-h (dato cliente)							
CONSUMO ENERGETICO									
	Potencia por unidad	Potencia consumida por unidad	Unidad Instalada	Potencia Instalada (Kw)	Unidad en operaci	Horas de funcionamie nto(hr/d)	Días de funcionamie nto (	Horas totales /mes	Consumo (kW-h) /mes
Tratamiento primario									
Bomba de alimentacion	1.50	0.93	2.00	3.00	1.00	24.00	30.00	720.00	669.60
Bomba dosificadora coagulante	0.04	0.04	1.00	0.04	1.00	24.00	30.00	720.00	28.80
Bomba dosificadora acido	0.01	0.01	1.00	0.01	1.00	12.00	30.00	360.00	5.04
Bomba dosificadora Floculante	0.37	0.37	1.00	0.37	1.00	24.00	30.00	720.00	266.40
Preparador de polimero	1.10	1.10	1.00	1.10	1.00	12.00	30.00	360.00	396.00
Equipo DAF	5.23	3.41	1.00	5.23	1.00	24.00	30.00	720.00	2455.20
Bomba de lodos	1.50	0.35	2.00	3.00	1.00	22.00	30.00	660.00	231.00
Tanque biologico aerobio									
Bomba sumergibles alimentacion	1.50	0.93	2.00	3.00	1.00	24.00	30.00	720.00	669.60
Sopladores reactor	75.00	51.62	2.00	150.00	1.00	24.00	30.00	720.00	37166.40
Proceso de filtracion-BIOFLOW									
Bombas alimentacion membranas	20	18.32	2	40.00	1	24.00	30	720	13190.40
Bombas de recirculacion	132	102.22	2	264.00	1	24.00	30	720	73598.40
Bomba CIP	15	10.00	1	15.00	1	4.00	0.4	1.6	16.00
				484.75	kW			128692.84 kW-h/mes	
COSTO OPERATIVO TOTAL DEL PROCESO (DAF + BIOLOGICO+MEMBRANAS SUMERGIDAS)									
Requerimiento de Energía				8.937 kW-h/m3					
Costo mensual energia				25739 U\$/mes					
Costo Operativo por equipos				1.79 U\$/m3					

Figura 51.

Costo operativo por consumo de productos químicos en el tratamiento primario

COSTO OPERATIVO -CONSUMO DE P.QUIMICOS (REFERENCIAL)			
PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL INDUSTRIAL -MEMBRANAS SUMERGIDAS			
	CAUDAL DE AGUA TRATADA		20.00 m3/h
	Horas por día:	24 h	480 m3/día
	Días por mes	30 d	14400 m3/mes
	Días por año:	360 d	172800 m3/año
CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS			
Consumo de acido sulfurico 98%	Precio referencial	0.95	US\$/kg
	Consumo del producto	7.00	L/día
	Densidad	1.80	kg/L
		12.60	kg/día
		378.0	kg/mes
		4536.0	kg/anual
		12.0	US\$/día
		359.1	US\$/mes
	Costo operativo	0.025	US\$/m3
Consumo Cloruro ferrico 40%	Precio referencial	0.70	US\$/kg
	Consumo del producto	240.00	L/día
	Densidad	1.42	kg/L
		340.80	kg/día
		10224.0	kg/mes
		122688.0	kg/anual
		238.6	US\$/día
		7156.8	US\$/mes
	Costo operativo	0.497	US\$/m3
Polimero equipo DAF	Consumo de floculante	20	ppm
	Flujo de Agua Total	20.00	m3/h
	Precio referencial	5.50	US\$/kg
	Consumo del químico	0.40	kg/hr
		9.60	kg/día
		288.0	kg/mes
		3456.0	kg/anual
		52.8	US\$/día
		1584.0	US\$/mes
	Costo operativo	0.110	US\$/m3
COSTO OPERATIVO POR CONSUMO DE PRODUCTOS QUIMICOS			
		0.63	US\$/m3
		9099.90	US\$/mes

12 DISCUSION DE RESULTADOS

- Establecer el tratamiento primario antes de la etapa del proceso aeróbico nos ha permitido reducir las concentraciones de ingreso a la mencionada etapa, logrando con ello reducir los volúmenes en el diseño del tratamiento aeróbico. Complementaria a lo señalado también permite alcanzar concentraciones de aceites y grasas por debajo de lo recomendado por el fabricante de membranas.
- Se estima una generación de lodos de $20.6\text{m}^3/\text{día}$ al 7% del tratamiento primario.
- La principal restricción debido principalmente a su costo será definir la cantidad membranas. La cantidad máxima recomendable de permeado, para la cantidad disponible de membranas, es de $578.9\text{m}^3/\text{d}$.
- La tabla 10 muestra que el diseño preliminar es correcto y se alcanzan valores por debajo del objetivo, pero las concentraciones de solidos suspendidos en la columna B y E nos muestran que se puede reducir el volumen del tanque supuesto inicialmente. Reducción de 400m^3 a 345m^3 .
- El tiempo de retención celular evaluado entre 15 a 30 días no ha mostrado marcada influencia sobre la salida la DBO_5 y la DQO. Se alcanza una remoción de 99.5 % de DQO y 99.9% de la DBO_5
- Según se muestra en la tabla 10 los valores de nitrógeno y fosforo en la descarga de lodos es alta y en el permeado es baja por lo que podríamos notar que la mayor cantidad de nutrientes es asimilada por las bacterias.
- Manteniendo un tiempo de retención celular de 20 días, se ha obtenido un caudal de descarga de lodos biológicos de $21.13\text{m}^3/\text{día}$ con una concentración de 9465.0mg/L de solidos suspendidos.

- Al evaluar para el caudal máximo permitido por las membranas, se obtuvo que caudal del aire máximo necesario para la aplicación es de 1912m³/h. Con este valor se selecciona el soplador y la cantidad de difusores.
- El precio estimado del proyecto con membranas sumergidas es de 1'336,000.00 USD+IGV, mientras que con membranas externas fue de 1'150,000.00 USD+IGV el cual incluye equipamiento y servicios instalación, Comisionamiento y puesta en marcha. Si bien la solución con membranas externas es más económica, debe de considerarse también el consumo energético. Además de lo mencionado se debe de valorar a largo plazo la frecuencia de limpieza y cambio de membranas y su costo asociado el cual no está incluido en el presente trabajo. Por ultimo y aunque no sea más difícil de cuantificar, hacer los cambios de membranas externas son mas sencillos que en una de membranas sumergidas.
- De acuerdo con lo mostrado, el 87 % costo operativo del proceso pertenece a la aireación del tanque aerobio y la limpieza de membranas.
- De acuerdo con lo mostrado, el 69 % costo operativo del proceso pertenece al bombeo que se debe de realizar para la operación del sistema con membranas externas.
- El costo operativo total con membranas sumergidas es 1.39 \$/m³ de agua tratada. El 54 % pertenece al consumo de energía de los equipos. Se podría optimizar el consumo de productos químicos con pruebas de jarras realizadas en campo.
- El costo operativo total con membranas externas es 2.42 \$/m³ de agua tratada. El 74 % pertenece al consumo de energía de los equipos.

13 CONCLUSIONES

- El tratamiento primario será efectivo y necesario para reducir los sólidos suspendidos y aceites grasas de un agua residual industrial proveniente industria Láctea.
- Se estima que la generación global de lodos del proyecto será de $41.77\text{m}^3/\text{día}$.
- Las 4 membranas sumergidas del modelo NHP210-600D y las 6 membranas externas del modelo MO 104G 66.03 I8 XL V/White seleccionadas son suficientes para tratar el caudal promedio y máximo evaluados.
- La planta puede tratar hasta un 25% más del caudal promedio.
- El volumen de 345m^3 es adecuado para el tratamiento biológico aerobio propuesto.
- En una planta de tratamiento biológica con membranas sumergidas el mayor consumo energético pertenece a la aireación. Para nuestro caso en particular representa el 86% del total.
- En una planta de tratamiento biológica con membranas externas el mayor consumo energético pertenece al bombeo. Para nuestro caso en particular representa el 69% del total.
- La solución propuesta puede alcanzar una remoción de 99.5% y 99.9% de la DQO y DBO_5 respectivamente.
- Si bien el costo de inversión en una planta con membranas externas es más económico también se debe tener en cuenta el consumo energético y otros factores como la frecuencia de limpieza química de las membranas y frecuencia de cambio de estas.
- La calidad del agua tratada cumple con los valores del objetivo 2 por lo que podría

alimentarse directamente a un tratamiento por osmosis inversa para obtener agua que pueda usarse en el proceso.

14 RECOMENDACIONES

- Evaluar en sitio con pruebas de jarras y en el mismo equipo las diferentes alternativas a fin de reducir el costo operativo por consumo de productos químicos.
- Siempre que sea posible debemos recurrir a la simulación para optimizar el diseño para reducir costos de equipamiento, además de verificar holguras de operación.
- Consultar con el fabricante de las membranas los parámetros de operación recomendado para validar el diseño.
- Se deberá evaluar el tren de tratamiento de lodos existente del usuario y verificar si tiene la holgura necesaria para recibir la nueva cantidad de lodos generados.
- Se debe de proponer realizar un pilotaje in situ por lo menos con una duración de 6 meses a fin de verificar las suposiciones realizadas en el simulador. Además del pilotaje también se podrá verificar el flux de operación y las frecuencias de limpieza. Con ello se podría estimar también las frecuencias de cambio de membranas. Con todos estos datos se podría tomar una mejor decisión.
- Berghof tiene otra configuración llamada Biopulse el cual destaca por ser de menor consumo energético. Sería adecuado también poder evaluarlo.
- Con los datos de salida obtenidos y con la calidad del agua esperada por el usuario para poder usarlo sus procesos, se recomienda evaluar el costo de una etapa de osmosis inversa.
- En caso de proyectos donde no existe plantas, solicitar un análisis mas detallado de

las concentraciones.

15 REFERENCIAS

16 Referencias

- AEDyR. (18 de Junio de 2019). *La tecnología de reutilización de agua más compacta: Reactores Biológicos de Membranas (MBR)*. Obtenido de Asociacion Española de Desalacion y Reutilizacion: <https://aedyr.com/tecnologia-reutilizacion-agua-compacta-reactores-biologicos-membranas-mbr/>
- Andrade, L., Mendes, F., Espindola, J., & Amaral, M. (Septiembre de 2015). Reuse of dairy wastewater treated by membrane bioreactor and nanofiltration: technical and economic feasibility. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 32, 735-747.
doi:<https://doi.org/10.1590/0104-6632.20150323s00003133>
- Andrade, L., Motta, G., & Amaral, M. (Diciembre de 2013). Treatment of dairy wastewater with a membrane bioreactor. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, 30(4), 759-770.
doi:<https://doi.org/10.1590/S0104-66322013000400008>
- Berghof Group. (2013). Presentacion "Somos Berghof Membrane Technology".
- Brazzale, P., Bourbon, B., Barrucand, P., Fenelon , M., Guercini, S., & Tiarca, R. (2019). *Bulletin of the International Dairy Federation 500: Wastewater Treatment in Dairy Processing Innovative solutions for sustainable wastewater management*.
- Carawan, R., Chambers, J., Zall, R., & Wilkowske, R. (1979). *Water and wastewater management in food processing*. North Carolina Agricultural Extension Service.
- Carhuaz, K. (2022). *Tratamiento de agua residual domestica para riego de cultivos. [Trabajo de suficiencia profesional, Universidad Nacional de Ingenieria]*. Repositorio institucional.

- Chacon, J., & Ramirez, L. (2020). *Propuesta de planta de tratamiento de aguas residuales para empresa de lacteos, a partir de la simulacion del software GPS-X [Trabajo de grado, Universidad Catolica de Colombia]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <https://hdl.handle.net/10983/25826>
- Cordova, T. (2017). *Acondicionamiento de una planta piloto tipo bioreactor de membranas con efluentes papeleros.[Trabajo academico, Universidad Nacional del Callao]*. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12952/3500>
- Demirel, B., & Yenigun, O. (2004). Anaerobic Acidogenesis of Dairy Wastewater: The Effects of Variations in Hydraulic Retention Time with No pH Control. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 755-760. doi:10.1002/jctb.1052
- Espindola, J., Mierzwa, J., Amaral, M., & De Andrade, L. (Enero de 2023). Water Reuse through Membrane Technologies for a Dairy Plant Using Water Pinch Simulation Software. *Sustainability*, 15(3), 11. doi:<http://dx.doi.org/10.3390/su15032540>
- Fraga, F., Garcia, H., Hooijmans, C., Miguez, D., & Brdjanovic, D. (2017). Evaluation of a membrane bioreactor on dairy wastewater treatment and reuse in Uruguay. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 119, 552-564. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.11.025>
- Garcia, L., & Medina, R. (2021). *El tratamiento de aguas residuales como oportunidad para el desarrollo sostenible en el parque cientifico tecnologico y social de Santa Maria del Mar- Punku [Tesis, Pontificia Universidad Catolica del Peru]*. Repositorio institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/20.500.12404/20232>
- Gavala, H., Kopsinis, H., Skiadas,, I., Stamatelatou, K., & Lyberatos, G. (1999). Treatment of Dairy Wastewater Using an Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor. *Journal of*

- Agricultural and Engineering Research*, 73, 59-63.
doi:<https://doi.org/10.1006/jaer.1998.0391>
- Giner, G., Karlis, P., Stubdrup, K. R., Brinkmann, T., & Roudier, S. (2019). *Best Available Techniques (BAT): Reference Document for the Food, Drink and Milk Industries. Industrial Emissions Directive 2010/75/EU (Integrated Pollution Prevention and Control)*. Luxemburgo: Publications Office of the European Union.
doi:10.2760/243911
- Janczukowicz, W., Zieliński, M., & Dębowski, M. (2008). Biodegradability evaluation of dairy effluents originated in selected sections of dairy production,. 99, 4199-4205.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.077>.
- Judd, S., & Judd, C. (2011). *The MBR Book: Principles and Applications of Membrane Bioreactors for Water and Wastewater Treatment* (2 ed.). Elsevier.
- Kaur, N. (2021). Different treatment techniques of dairy wastewater. *Groundwater for Sustainable Development*, 14. doi:<https://doi.org/10.1016/j.gsd.2021.100640>.
- Kolarski, R., & Nyhuis, G. (1996). *The use of sequencing batch reactor technology for the treatment of high-strength dairy processing waste*. United States: Purdue industrial waste conference, W. Lafayette, IN (United States),.
- Kubota. (2017). *Presentacion operacion membranas*.
- Kushwaha, J., Srivastava, V., & Mall, I. (2011). An overview of various technologies for the treatment of dairy wastewaters. *Critical reviews in food science and nutrition*, 51(5), 442-452. doi:<https://doi.org/10.1080/10408391003663879>
- Lopez Vasquez, C. M., Buitron Mendez, G., Garcia, H. A., & Cervantes, F. J. (2017). *Tratamiento biológico de aguas: principio, modelacion y diseño*. IWA Publishing.

- Lopez, J., & Coello, M. (2014). *Estudio de aplicación de Biorreactores de Membrana (MBR) en la depuración de las aguas residuales*[Trabajo de Fin de Master, Universidad de Cadiz]. Repositorio Institucional. Obtenido de <http://hdl.handle.net/10498/16511>
- Metcalf & Eddy, Tchobanoglous, G., Stensel, H. D., Tsuchihashi, R., Burton, F., Abu-Orf, M., . . . Pfrang, W. (2014). *Wastewater engineering: treatment and resource recovery* (5 ed.). New York: Mc Graw Hill Education.
- Orhon, D., & Cokgor, E. (1997). COD Fractionation in Wastewater Characterization: The State of the Art. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*, 68(3), 283-293.
doi:[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-4660\(199703\)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-4660(199703)68:3<283::AID-JCTB633>3.0.CO;2-X)
- Orhon, D., Babuna, F., & Karahan, O. (2009). *Industrial wastewater treatment by activated sludge*. IWA Publishing.
- Orhon, D., Görgün, E., Germirli, F., & Artan, N. (1993). Biological treatability of dairy wastewaters. *Water Research*, 27(4), 625-633. doi:[https://doi.org/10.1016/0043-1354\(93\)90172-E](https://doi.org/10.1016/0043-1354(93)90172-E)
- Passeggi, M., López, I., & Borzacconi, L. (2009). Integrated anaerobic treatment of dairy industrial wastewater and sludge. *Water Sci Technol*, 59(3), 501-506.
doi:<https://doi.org/10.2166/wst.2009.010>
- Ramasamy, E., Gajalakshmi, S., Sanjeevi, R., Jithesh, M., & Abbasi, S. (2004). Feasibility studies on the treatment of dairy wastewaters with upflow anaerobic sludge blanket reactors. *Bioresource technology*,, 209-212.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2003.11.001>
- Rico Gutierrez, J., García Encina, P., & Fdz-Polanco, F. (1991). Anaerobic treatment of cheese-

- production wastewater using a UASB reactor. *Bioresource Technology*, 37(3), 271-276.
doi:[https://doi.org/10.1016/0960-8524\(91\)90194-O](https://doi.org/10.1016/0960-8524(91)90194-O)
- Romero Rojas, J. A. (2004). *Tratamiento de aguas residuales, teoría y principios de diseño* (3 ed.). Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Slavov, A. (2017). General Characteristics and Treatment Possibilities of Dairy Wastewater-A Review. *Food technology and biotechnology*, 55(1), 14-28.
doi:<https://doi.org/10.17113/ftb.55.01.17.4520>
- Toray Industries Inc. (Abril de 2013). Submerged Membrane Module TORAY “MEMBRAY”-Engineering Manual.
- Toray Industries Inc. (Abril de 2023). Toray MBR-Instruction Manual. Obtenido de https://www.water.toray/knowledge/manual/pdf/Instruction_Manual_NHP210Series_20230430.pdf
- Vasquez, E. (2015). *Estudio de biorreactor de membrana para el tratamiento de aguas residuales urbanas* [Trabajo de fin de Master, Universidad de Alicante]. Obtenido de <https://iuaca.ua.es/es/master-agua/documentos/gestadm/trabajos-fin-de-master/tfm09/tfm09-edgardo-vasquez-rodriguez.pdf>
- Vidal, G., Carvalho, A., & Lema, J. (2000). Influence of the content in fats and proteins on the anaerobic biodegradability of dairy wastewaters. *Bioresource Technology*, 74(3), 231-239. doi:[https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(00\)00015-8](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(00)00015-8)
- Vourch, M., Balannec, B., Chaufer, B., & Dorange, G. (2008). Treatment of dairy industry wastewater by reverse osmosis for water reuse. *Elsevier*, 190-202.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.desal.2007.05.013>
- Water Environment Federation. (2008). *Industrial Wastewater Management, Treatment, and*

Disposal. Manual of Practice (3 ed.). Mc Graw-Hill Education.

17 ANEXOS

- 17.1 Descripción general de equipos principales propuestos.
- 17.2 Balance de masa sistema de tratamiento primario.
- 17.3 Balance de masa del sistema biológico MBR.
- 17.4 Diagrama de flujo del sistema propuesto con membranas sumergidas.
- 17.5 Diagrama de flujo del sistema propuesto con membranas externas.
- 17.6 Diagrama de tubería e instrumentación de las membranas externas.
- 17.7 Ficha técnica membranas sumergidas Toray.
- 17.8 Ficha técnica membranas externas Berghof.

17.1 Descripción general de equipos principales propuestos

TRATAMIENTO PRIMARIO

01 BOMBAS DE ALIMENTACION DAF

Fabricante	: Sydex-UK o similar
Cantidad	: 02 und. (1 operación – 1 stand by)
Tipo	: Cavidad progresiva
Modelo	: BK065-1SG5B500L1B1AED
Potencia motor	: 1.5kW
Caudal	: 20-25m ³ /h
Arranque	: Variador de frecuencia



02 SISTEMA DE COAGULACION FLOCULACION

Tubo Flocculador

Fabricante	: Huber- Alemania o similar
Material	: HPDE
Cantidad	: 1 und.
Modelo	: PFR 020
Incluye	: Válvulas de muestreo



Unidad de dosificación de coagulante- FeCl_3 (40%)

Fabricante : Injecta-Italia o similar
Cantidad : 1 und.
Caudal : 7-16 L/h
Potencia : 40W
Modelo : GEA 3

Unidad de dosificación de ácido nítrico (98%)

Fabricante : Injecta-Italia o similar
Cantidad : 1 und.
Caudal : 0.4-1.5L/h
Potencia : 14W
Modelo : GEA Low Flow

Unidad de dosificación de floculante diluido (0.2-0.5%)

Fabricante : Injecta-Italia o similar
Cantidad : 1 und.
Caudal max : 330 L/h
Potencia : 0.37kW
Modelo : ATM06138C

Preparador automático de floculante

Fabricante : Prominent o similar
Cantidad : 1 und.
Tipo floculante : solido o liquido
Capacidad : 1000L
Tiempo maduración : 60 min.
Caudal máx. : 1000L/h
Potencia agitadores : 0.55kW / 0.55kW
Modelo : Ultromat ULFO 1000NA11P108L6010
Dimensiones : 2.42m (L)x 0.96m(W)x 1.60m(H)
Incluye : Bomba de floculante concentrado 47L/h (0.18kW)



EQUIPO SEPARACION SOLIDO-LIQUIDO (DAF)

Fabricante : Huber-Alemania o similar
 Cantidad : 01 und.
 Modelo : HDF 3
 Material : 316L , 304L
 Dimensiones : 3.15m (L)x 2.00m(W)x 3.25m(H)
 Incluye : válvulas de purga de lodos
 Placas deflectoras

Rascador

Tipo : colector de lodos de paletas automático
 Cantidad : 01 und.
 Marca : Bauer o similar
 Potencia nominal : 0.03kW
 Velocidad de rotación : 1.2min^{-1}

Bomba de saturación

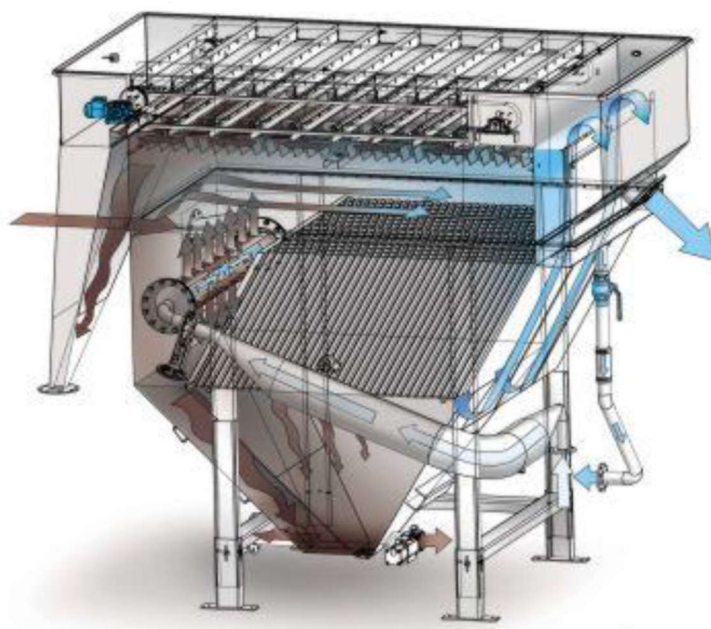
Tipo : Centrifuga
 Cantidad : 01und.
 Marca : EDUR o similar
 Potencia nominal : 4 kW
 Presión : 5.2bar
 Velocidad de rotación : 2900 min^{-1}
 Material housing : Hierro fundido
 Material impeler : Bronce

Compresor

Tipo : Centrifuga
 Cantidad : 01 und.
 Marca : Kaeser o similar
 Potencia nominal : 1.2 kW
 Presión : 6 bar
 Caudal aire : 180L/min
 Volumen : 40L

Bomba de transporte de lodos flotados

Tipo : Cavidad progresiva
 Cantidad : 02 und. (1 operación-1 stand by)
 Marca : Sydex-UK o similar
 Potencia nominal : 1.5 kW
 Caudal : $4\text{ m}^3/\text{h}$



TRATAMIENTO SECUNDARIO AEROBIO

04 BOMBAS SUMERGIBLES



Permite la alimentación del tanque biológico aerobio desde el pozo de rebombeo:

Fabricante	: Tsurumi-Japón o similar
Cantidad	: 02 und. (1 operación – 1 stand by)
Modelo	: 80B21.5
Potencia motor	: 1.5kW
Caudal	: 20-25m ³ /h
Material impulsor	: Hierro fundido
Material eje	: Acero Inoxidable
Material carcasa	: Hierro fundido
Incluye	: Guía riel
Arranque	: Variador de frecuencia

05 TANQUE BIOLOGICO AEROBIO

Fabricante	: Toro-España o similar
Cantidad	: 01 und.
Modelo	: W-TANK N13D9.4H6
Material	: PFRV
Diámetro nominal	: 9.4 m

Altura total : 6.0 m
Altura útil : 5.0 m
Volumen útil : 346 m³





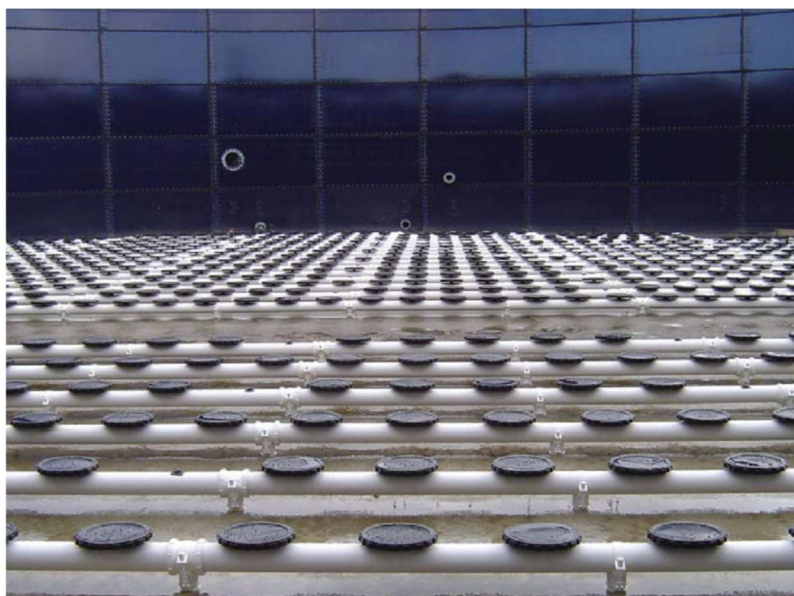
06

DIFUSORES DE BURBUJA FINA

Los difusores van instalados en la base del tanque biológico aerobio



Fabricante	: EDI-USA o similar
Cantidad	: Definidas en la etapa de ingeniería
Modelo	: Flex Air 12" Micropore
Material	: EPDM



07

SOPLADORES PARA TANQUE AEROBIO

Fabricante	: Mapner-España o similar
Cantidad	: 02 und. (1 operación – 1 stand by)
Modelo	: SEM 35
Potencia motor	: 75kW
Caudal	: 1400-2000Sm ³ /h
Presión descarga	: 620mbar
Tipo	: Émbolos rotativo Trilobular
Nivel sonoro	: 75dB(A) (Con cabina)
Dimensiones	: L 1.60m W 1.57m H 1.93m
Incluye	: Filtro de aspiración Transmisión por correa y poleas Manguito elástico Soportes anti vibratorios Variadores de frecuencia



TANQUE DE MEMBRANAS

08

SET DE MEMBRANAS

Fabricante	: Toray-Japón o similar
Cantidad	: 04 und.
Modelo modulo	: NHP 210-600D
Material membrana	: Fluoruro de polivinilideno (PVDF)
Área del módulo	: 420m ²
Área total	: 1680m ²
Válvulas	: Covna o similar
Tamaño nominal poro	: 0.08um
Dimensión modulo	: L 556mm W 1460mm H 3760mm



Las membranas son entregadas instaladas dentro de un tanque fabricado en acero estructural cuyas dimensiones son de 6.0m(L) x 2.5m(W)x 5.0m(H)



09

SOPLADORES PARA LIMPIEZA DE MEMBRANAS

Fabricante	: Mapner-España o similar
Cantidad	: 02 und. (1 operación – 1 stand by)
Modelo	: SEM 11
Potencia motor	: 18.5kW
Caudal	: 480 Sm ³ /h
Presión descarga	: 520mbar
Tipo	: Émbolos rotativo Trilobular
Nivel sonoro	: 70dB(A) (Con cabina)
Dimensiones	: L 1.25m W 1.20m H 1.45m
Incluye	: Filtro de aspiración

Transmisión por correa y poleas
Manguito elástico
Soportes anti vibratorios
Variadores de frecuencia



10 BOMBA SUMERGIBLE RECIRCULACION/DESCARGA DE LODOS



Fabricante	: Tsurumi-Japón o similar
Cantidad	: 02 und. (1 operación – 1 stand by)
Modelo	: 100B45.5
Potencia motor	: 5.5kW
Caudal	: 80-100m ³ /h
Material impulsor	: Hierro fundido
Material eje	: Acero Inoxidable
Material carcasa	: Hierro fundido
Incluye	: Guía riel
Arranque	: Variador de frecuencia

11 BOMBAS DE PERMEADO

Fabricante	: Sydex-UK o similar
Cantidad	: 02 und. (1 operación – 1 stand by)
Tipo	: Cavidad progresiva
Modelo	: BK065-1SG5B500L1B1AED
Potencia motor	: 1.5kW
Caudal	: 20-25m ³ /h
Arranque	: Variador de frecuencia



12 BOMBA DE LIMPIEZA (CIP)

Fabricante : Flint & Walling -USA o similar
 Cantidad : 01 und.
 Tipo : Centrifuga
 Modelo : C31S053T
 Potencia motor : 0.37kW
 Caudal : 5m³/h
 Incluye : Tanque de 2500 L

13 SENSORES PTAR

Tipo	Marca	Cantidad	Ubicación
Nivel ultrasónico	Endress+Hauser	2 und.	-Tanque de membranas -Pozo de rebombeo
pH metro	Endress+Hauser	1 und.	-Entrada tubo floculador
Oxígeno disuelto	Endress+Hauser	2 und.	-Tanque biológico aerobio. -Tanque de membranas
Medidor de Flujo electromagnético	Endress+Hauser	4 und.	-Entrada tubo floculador. -Tubería ingreso tanque biológico -Tubería recirculación lodos -Tubería permeado
Medidor de Flujo Vortex	Endress+Hauser	1 und	-Tubería de aire salida sopladores limpieza de membranas

01 OPCION CON MEMBRANA EXTERNAS

06 und MEMBRANA MBR EXTERNA

Marca Modulo/Membranas	: BERGHOF-ALEMANIA
Material membranas	: PVDF
Poro membrana	: 30 nm
Material Modulo	: FRP
Area de membrana	: 53.4 m ²
Dimensiones del Módulo	: Ø10" x 4 m



Tablero de arranque y control

El tablero de arranque de motores se encargará de controlar los motores eléctricos ya sea con arrancadores a tensión plena, arrancadores suaves o variadores de velocidad según se requiera. El diseño se apegará a las normas peruanas vigente.

La alimentación del tablero será en 380V/3 fases/ 60 Hz.

Caja eléctrica	: Rittal
Accesorios	: Siemens/Schneider o similar
Variadores o softs	: ABB / Danfoss o similar
Protección	: NEMA 12

Tablero de control

El sistema de control propuesto basa su funcionamiento en el uso de PLCs, tarjetas de comunicación y procesadores marca Siemens para el PLC.

El tablero de control centralizado controlara señales ubicadas en campo y la alternancia con los equipos de relevo. El tablero de control central se encargará de coordinar la operación de la planta trabajando en red con los tableros de los equipos.

Se está proponiendo una planta automatizada que minimice la participación del operador a lo estrictamente necesario. No obstante, este grado de automatización no implica que se pueda prescindir de un operador responsable en cada turno cuya participación consiste principalmente en el monitoreo de las condiciones generales de operación

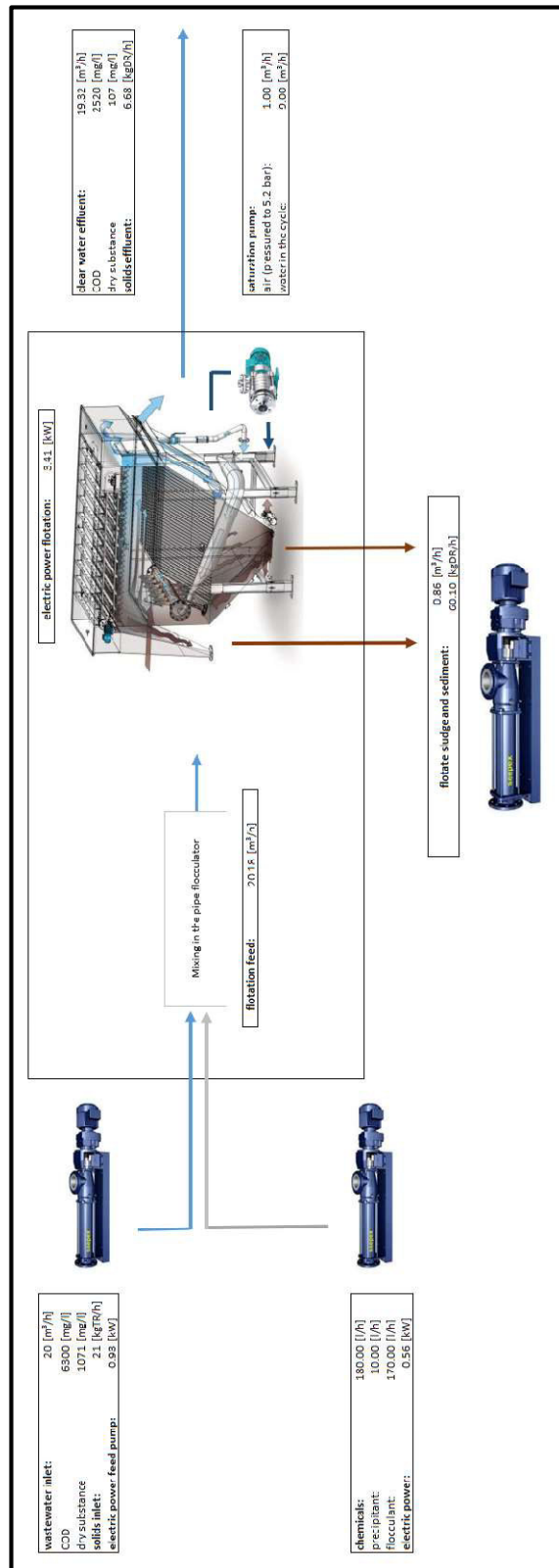
Panel de control

PLC	: Siemens S7-1500, con puerto Ethernet.
Display modelo	: SIMATIC HMI TP1900 Comfort.
Caja Eléctrica	: Nema 12 o similar.
Accesorios	: Siemens, Schneider o similar.

NOTAS:

1. Diseño preliminar.

17.2 Balance de masa del tratamiento primario



17.3 Balance de masa del tratamiento biológico aerobio

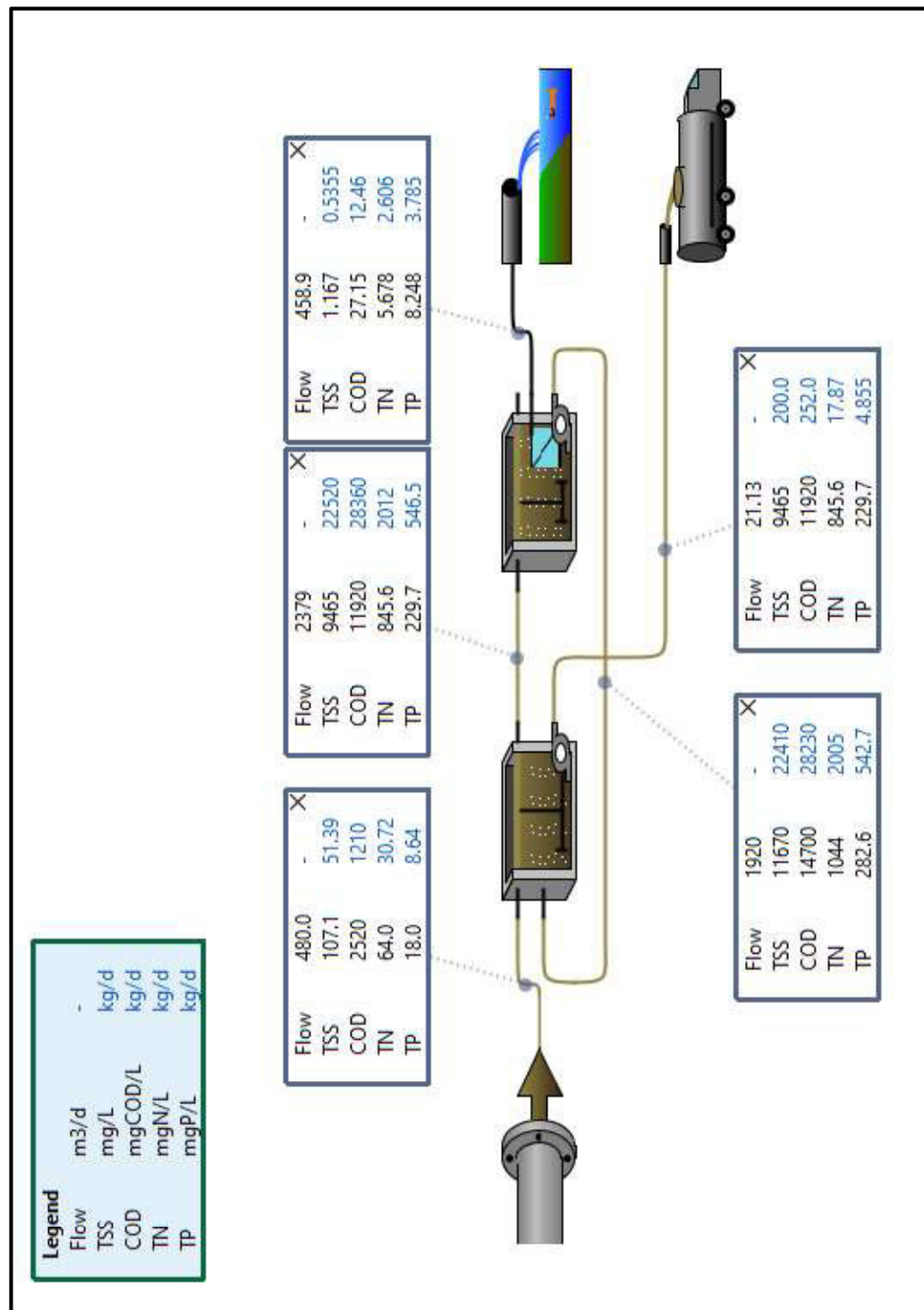


Diagrama de flujo del sistema propuesto con membranas sumergidas

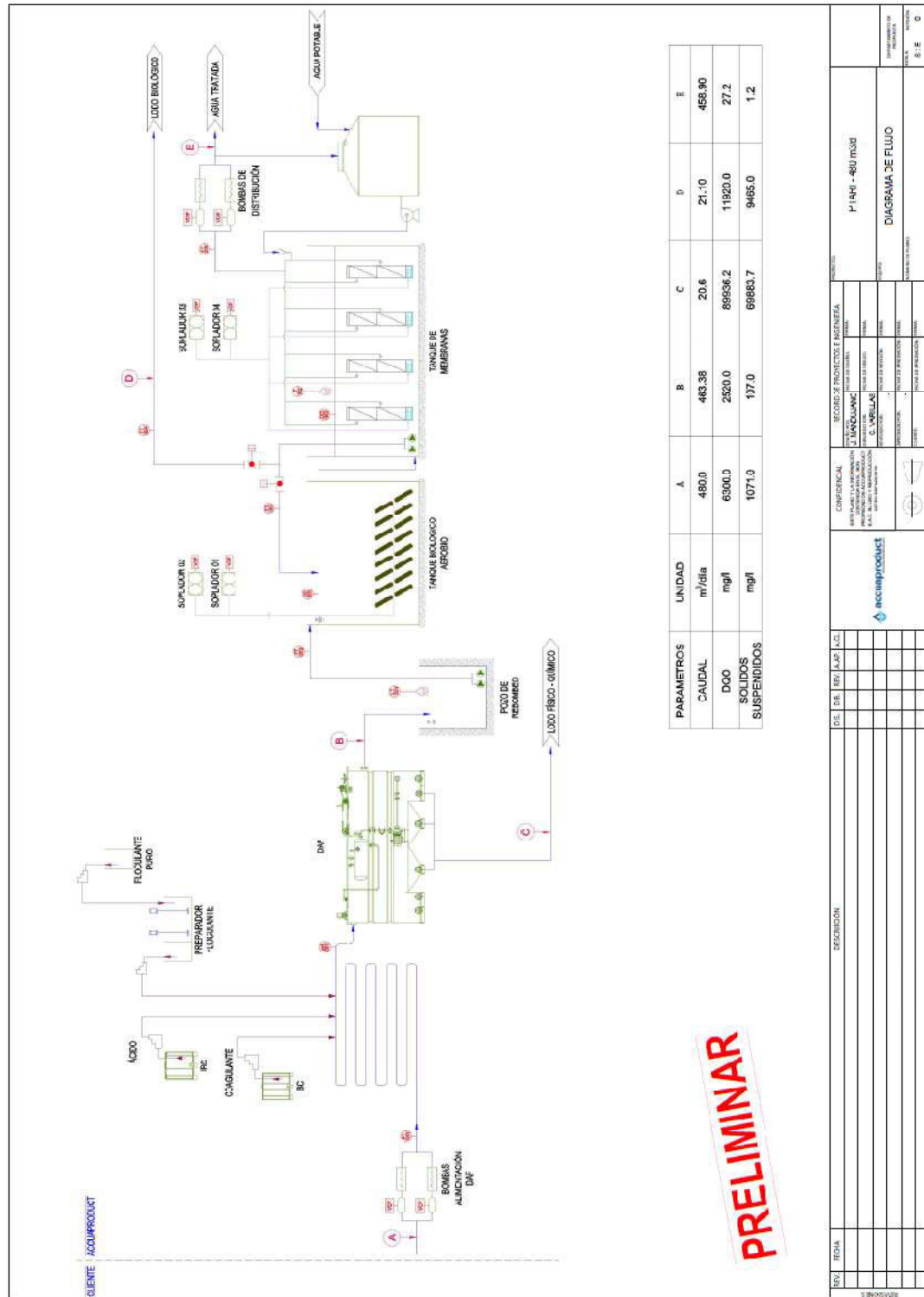
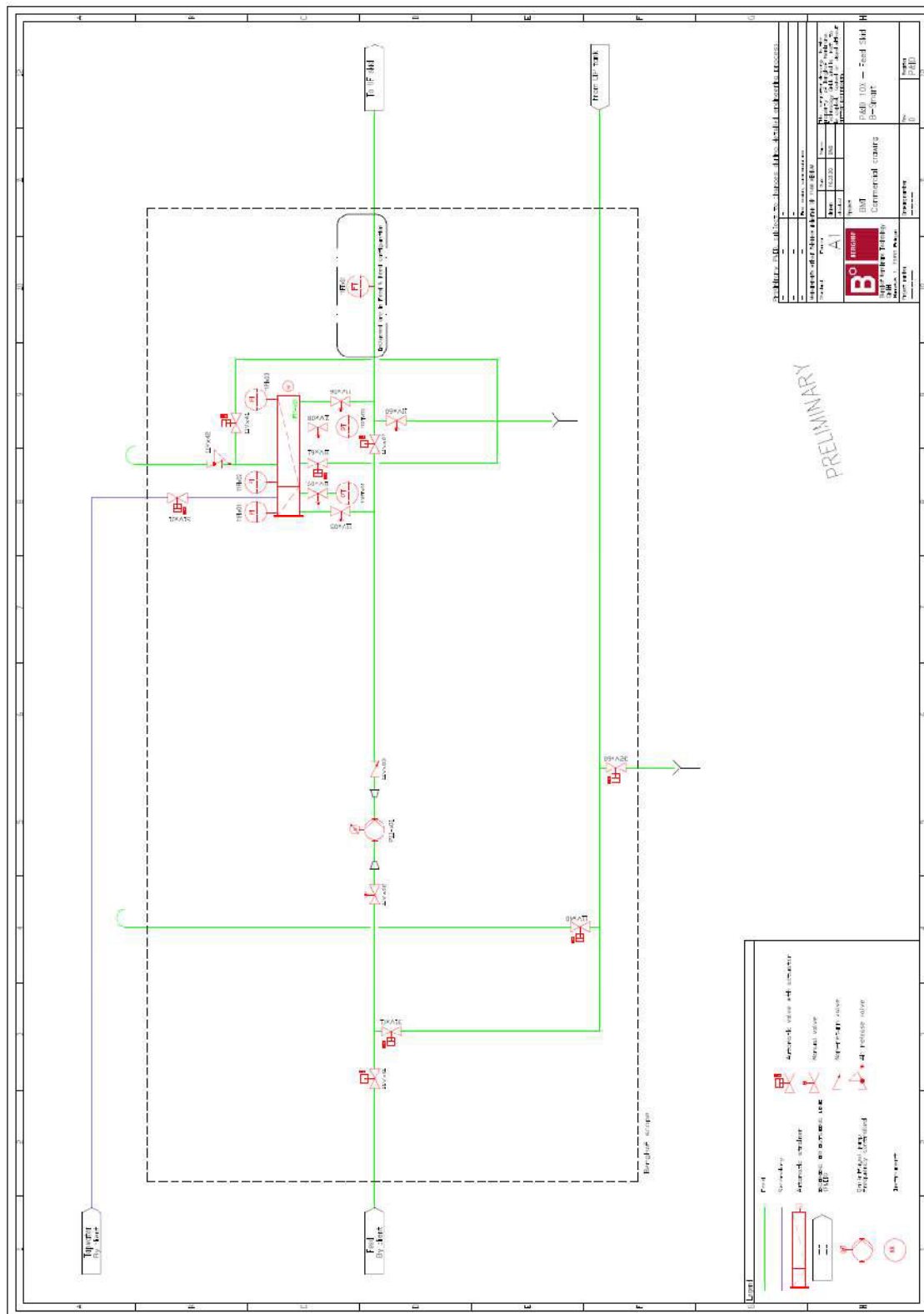


Diagrama de flujo del sistema propuesto con membranas externas



17.6 Diagrama de tubería e instrumentación de las membranas externas





MEMBRAY™ NHP Series — Product Specifications

SERIES		NHP (NEW HIGH PERFORMANCE) TSP-50080 (Flat sheet)	
Element Model & Specification	Model		
	Effective Membrane Area (m ²)	0.7	
	Nominal Pore Size (µm)	0.08	
	Dimensions (mm)	477 wide x 800 high x 1.8 thick	
Material	Membrane	Polyvinylidene fluoride (PVDF) and Polyethylene terephthalate (PET) non-woven fiber	
	Nozzle	Polyester (PE)	
Model		ECS035 (Cassette)	NHP210-300S (Module)
Design Flow	m ² /day	3,75–26	22.5–158
	gal/day	1,000–7,000	6,000–41,500
Number of Membrane Elements		50	300
Cassette structure		N/A	3 cassettes x 2 decks
		35	210
Total Membrane Area	m ²	376.7	2,260.4
	ft ²		4,520.8
Dimensions ^{*1}	Width	413 (w) x 484 (l) x 800 (h)	1,460 (w) x 565 (l) x 2,090 (h)
	mm		
Weight (kg)	Module (dry)	16.3 (w) x 19.1 (l) x 31.5 (h)	57.5 (w) x 22.2 (l) x 82.3 (h)
	mm		
Weight (kg)	Acraion block (dry)	N/A	285
	mm		
Weight (kg)	Cassette / Element block (dry)	N/A	65
	mm		
Weight (kg)	Cassette / Element block (sludge clogging) ^{*2}	16	220
	mm		
Material	Frame	145	995
	Stainless steel (SS)		
Material	Permeated Water Manifold		Polypropylene
	Air diffuser	N/A	Polypropylene (SS optional)
Connection ^{*3}	Manifold	ANSI 1½ inch flange	ANSI 1½ inch flange or socket
	Air Diffuser	N/A	ANSI 1½ inch flange
Operating Range	Temperature		5–40 °C (41–104 °F)
	pH ^{*4} of liquid		5–10
Operating Range	Mixed Liquor Suspended Solids (MLSS)		Not higher than 18,000 mg/L
	Trans-membrane Pressure		Not higher than 20 kPa (200 mbar)
Operating Range	Cleaning chemical feed pressure		Not higher than 10 kPa (100 mbar)
	Cleaning chemical and concentration		Sodium hypochlorite (effective chlorine concentration): 2,000–6,000 mg/L (pH around 12)
Operating Range			Oxalic acid: 0.5–1.0 wt%
			Citric acid: 1.0–3.0 wt%
Scouring air flow rate ^{*5} (NL/min/Module) ^{*6}		330–670	1,000–2,000

*1 The total dimensions including the manifold(s) and riser pipe

*2 The weight assumed in the case of sludge clogging between elements

*3 UNI (ISO) flange is optional

*4 Except when chemical cleaning with/without chemical agents

*5 The air supply equipment such as blower shall be designed based on the standard operating conditions.

*6 "NL" means air volume at being 0 degree C and 10³ 325 kPa (1 atm)

Specifications subject to change without notice.

Printed May 1st 2018.

MC-MB2NH-PPDS-EN-1805

TORAY

17.8 Ficha técnica de membranas Berghof

TECHNICAL DATA SHEET
P. 1/2

HyperFlux Tubular Module

MO 104G_I8 XL V

Filtration procedure	BioFlow
Module dimensions	Length 4 m, connection diameter 10"
Module material	Glass fibre reinforced plastic (FRP), resin
Membrane diameter (internal)	8.0 mm

General properties	Berghof HyperFlux modules are especially designed to standardise and optimise the membrane area into standard glass fibre module housings. The HyperFlux module program is based on standard dimensions and connections and offers the best module design for small, medium, and large BioFlow UF-systems. The use of the HyperFlux module ensures a compact system design with reduced investment cost. The strong glass fibre module housing including the robust tubular membranes guarantees a long life with reduced operating costs. For an optimal use of the HyperFlux module program we recommend to read the operation manual as well as cleaning and preservation instructions carefully before start-up.
---------------------------	---

Fields of application	— membrane bioreactor — enzyme separation — purification — emulsion separation — biomass separation — concentration — waste water treatment — filtration of fermentation effluent — preliminary filtration — reclamation of reusable materials
------------------------------	---

Module data	
Module type	MO 104G_I8 XL V
Membrane area [m ²]	53.4
Membrane diameter, internal [mm]	8.0
Module length [mm]	4,000
Module diameter, external [mm]	259
Module material	Glass fibre reinforced plastic (FRP), resin
Retentate connection	groove system 10" (273 mm) ¹⁾
Filtrate connection	groove system 3" (88.9 mm) ¹⁾
Filtrate connections, number and placing	2, opposite
Distance, center permeate outlet to module end [mm]	150 ¹⁾

¹⁾ compliance with Victaulic® or Grinnell® specification

²⁾ see dimension sheet



Module data	
Module type	MO 104G_I8 XL V
Transmembrane pressure [kPa]	-20 ... +800
Circulation flow [m ³ /h]	96.0 · v ^{0.75}
Pressure drop over length of module [kPa] (approximately for water at 25 °C.)	8.1 · v ^{1.75}
Max. operating pressure [kPa]	800 (40°C) ^{*)}
Permeate pressure [kPa]	-80...+1.000 ^{**)}
Max. temperature [°C]	60 (600kPa)
Retentate volume [l]	107
Permeate volume [l]	57
Weight, dry [kg]	80

^{*)} v – crossflow velocity [m/s]

^{**) Note:} The stated range for the transmembrane pressure should not be exceeded

Membrane	Operating conditions and technical information are given in the membrane technical data sheet.
Module storage	New modules can be stored for up to two years under conditions as described in operation manual. Used modules have to be preserved in a clean condition. See also operating manual and cleaning and preservation instructions.
Note	The Berghof operating manual and the cleaning and conservation instructions are to be followed. Detailed assembly dimensions with the appropriate components are specified in: – "HyperFlux Tubular Module Dimension Sheet" – "HyperFlux Tubular Module List of Accessories".

Due to the fact that we have no control over the conditions under which our products are used, the information provided in the data sheets does not represent a guarantee and we are unable to accept any liability claim regarding the use of our products. Technical details and recommendations concerning our products are based on general experience and shall provide guidelines for their selection and use.

The product quality is ensured in our sales terms & conditions.

We permanently enhance our products; therefore we reserve the right to make changes to our products at any time and without prior notice.

Tubular membrane

66.03 I8

Type of filtration:	Ultrafiltration
Membrane material:	Polyvinylidene fluoride (PVDF)
Membrane diameter (internal):	8.0 mm

General properties	— asymmetric membrane structure — inside-out filtration — highly efficient hydrophilic tubular membrane — high permeability — excellent anti-fouling characteristics — high pressure stability — excellent chemical resistance — optimised for BioFlow application — used in HyperFlux membrane module	
Fields of application	— membrane bioreactor — purification — biomass separation — wastewater treatment — prefiltration — enzyme separation — emulsion separation — concentration — filtration of fermentation effluent — reclamation of reusable materials	

Performance characteristics		
Membrane type	Type 66.03 I8	Notes
Clean water flux [l/m ² ·h-100 kPa]	> 750	RO water, 25 °C
Transmembrane pressure max. [kPa]*	-20 to +800	
Mean pore size [nm]	approx. 30	dextran mixture
pH range of application [-]	2 – 10	at 25 °C
Max. temperature [°C]*	40 60	up to 800 kPa up to 600 kPa

* Note: the maximum values for pressure and temperature of HyperFlux I8 module should not be exceeded!

Membrane lifetime is influenced by:

- Operating conditions under normal operation
- Cleaning, especially regarding the combinations of maximal values of pH, concentration, pressure and temperature



Chemical resistance**Process chemicals**

The chemical resistance of a membrane is strongly dependent on the process conditions. The following ratings are to be taken as general guideline only.

Acids (pH > 2)	+++
Bases (pH ≤ 10)	+++
Organic esters, ether, ketones	+
Aliphatic alcohols	++++
Aliphatic hydrocarbons	++++
Halogenated hydrocarbons	+++
Aromatic hydrocarbons	+++
Polar organic solvents	+
Oils	++++

Key: ++++ = highly resistant / +- = poorly resistant

Cleaning chemicals

Depending on nature and degree of contamination, membrane cleaning may be carried out using the following chemicals. The membrane lifetime may be reduced when values, placed in brackets, are exceeded.

— chlorine, active (max. 500 ppm)	— nitric acid (pH ≥ 2)
— chlorine exposure 250,000 ppm·h (at 25 °C)	— phosphoric acid (pH ≥ 2)
— hydrogen peroxide (max. 1000 ppm)	— citric acid
— sodium hydroxide (pH ≤ 11)	— oxalic acid
	— enzymes

See Berghof cleaning and preservation instruction.

Membrane storage

New membranes can be stored in delivered condition up to two years.

Membrane must be stored dry, well packed in a cool, frost free, dark place.

Used membranes must be preserved in a clean state.

See Berghof cleaning and preservation instruction.

Due to the fact that we have no control over the conditions under which our products are used, the information provided in the data sheets does not represent a guarantee and we are unable to accept any liability claim regarding the use of our products. Technical details and recommendations concerning our products are based on general experience and shall provide guidelines for their selection and use.

The product quality is ensured in our sales terms & conditions.

We permanently enhance our products; therefore we reserve the right to make changes to our products at any time and without prior notice.