

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE CIENCIAS



**“REUSO DE AGUA RESIDUAL EN UNA INDUSTRIA DE
PLÁSTICOS MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGIAS
DE ULTRAFILTRACIÓN Y OSMOSIS INVERSA”**

Presentado por.

ROCÍO LUISA PIMENTEL GARCÍA

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título de:

INGENIERA AMBIENTAL

LIMA – PERÚ

2021

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 Reglamento de Propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS

**“REUSO DE AGUA RESIDUAL EN UNA INDUSTRIA DE PLÁSTICOS
MEDIANTE IMPLEMENTACIÓN DE TECNOLOGIAS DE ULTRAFILTRACION
Y OSMOSIS INVERSA”**

Presentado por:

ROCÍO LUISA PIMENTEL GARCÍA

Trabajo de Suficiencia Profesional para Optar el Título Profesional de:

INGENIERA AMBIENTAL

Sustentado y aprobado por el siguiente Jurado:

Mg. Sc. Rosa María Miglio Toledo

PRESIDENTE

Ing. Lawrence Enrique Quipuzco Ushñahua

MIEMBRO

Mg. Sc. Wilfredo Celestino Baldeón Quispe

MIEMBRO

Dra. Rosemary Vela Cardich

ASESORA

INDICE GENERAL

RESUMEN EJECUTIVO	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
2.1. OBJETIVO GENERAL	4
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	4
III. MARCO TEÓRICO.....	5
3.1. SITUACIÓN DEL AGUA EN LIMA	5
3.1.1. Agua fuente	5
3.1.2. Aguas residuales.....	6
3.1.3. Reutilización de aguas residuales.....	8
3.2. PROCESOS UNITARIOS DE LA EMPRESA OPP FILM	13
3.2.1. Procesos y/o servicios auxiliares.....	13
3.2.2. Proceso productivo para obtención de películas para empaques flexibles.....	16
3.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MBBR	19
3.4. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS	20
3.4.1. Ultrafiltración	21
3.4.2. Osmosis Inversa	23
3.5. MARCO LEGAL AMBIENTAL	24
3.5.1. Decreto Supremo No 004-2017-MINAM	24
3.5.2. Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS)	25
3.5.3. Resolución Jefatural No 224-2013-ANA	26
3.5.4. Decreto Supremo No. 013-2020-MIDAGRI.....	27
IV. MARCO METODOLÓGICO	28
4.1. ÁREA DE ESTUDIO	28
4.2. NATURALEZA DEL ESTUDIO.....	28
4.3. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES INICIALES DE FLUJO Y CALIDAD DE AGUA DESDE LA FUENTE HASTA SU DISPOSICIÓN FINAL	29
4.4. EVALUACIÓN DE PROCESOS QUE OPTIMICEN EL REÚSO DE AGUA RESIDUAL	31
4.5. EVALUACIÓN DEL PERFORMANCE DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO IMPLEMENTADOS	33
V. RESULTADOS Y ANÁLISIS.....	36

5.1. CONTEXTO LABORAL.....	36
5.1.1. Funciones desempeñadas	38
5.2. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA.....	38
5.3. PROYECTO DE SOLUCIÓN.....	39
5.4. EVALUACIÓN DEL PROYECTO	40
5.4.1. Condiciones iniciales de flujo y calidad de agua desde la fuente hasta su disposición final	40
5.4.2. Procesos que optimicen el reúso de agua residual	56
5.4.3. Performance de las tecnologías implementadas.....	67
VI. IMPACTO.....	78
6.1. BENEFICIO ECONÓMICO	78
6.1.1. Beneficio económico para el Cliente (OPP Film).....	78
6.1.2. Beneficio económico para WET Chemical Perú.....	81
6.2. BENEFICIO PROFESIONAL	81
VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	83
7.1. CONCLUSIONES.....	83
7.2. RECOMENDACIONES	84
VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
IX. ANEXOS	91

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Valores promedios de afluente PTAR Rio Frio y el efluente tratado por reactores UASB	7
Tabla 2: Parámetros para monitorear en una PTAR.....	8
Tabla 3: Volumen de agua residual tratada según uso	9
Tabla 4: Distribución de reúso de agua residual tratada.....	10
Tabla 5: Caracterización del efluente de la PTAR	10
Tabla 6: Calidad de agua para reposición para Caldera	12
Tabla 7: Caracterización de agua subterránea en la Zona 1 del acuífero de Lurín.....	14
Tabla 8: Parámetros de calidad de agua de reposición de Torre de enfriamiento	15
Tabla 9: Calidad del agua de la torre	15
Tabla 10: Calidad de agua de alimentación para membrana de Ultrafiltración	23
Tabla 11: Expectativa de calidad de agua permeada de Ultrafiltración	23
Tabla 12: Parámetros de ECA-Agua Categoría 3- Agua para riego no restringido (c).....	25
Tabla 13: Calidad de agua para reúso de agua residual tratada en la agricultura.....	26
Tabla 14: Valor de la retribución económica por el uso de agua subterránea con fines agrarios y no agrarios- Acuífero en equilibrio	27
Tabla 15: Puntos de muestreo y parámetros de calidad en la condición inicial	31
Tabla 16: Puntos de muestreo para evaluación de tecnologías implementadas	33
Tabla 17: Tecnologías utilizadas en el tratamiento del agua fuente en Planta 2 y 3 de OPP Film en la condición inicial	41
Tabla 18: Balance y distribución del agua fuente (pozo) en Planta 2 y 3 en la condición inicial.....	43
Tabla 19: Balance y distribución del agua tratada para uso en procesos en Planta 2 y 3 en la condición inicial	46
Tabla 20: Balance y distribución del agua residual en Planta 2 y 3 en la condición inicial.....	48
Tabla 21: Balance de agua final de Planta 2 y 3 en la condición inicial	49
Tabla 22: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 1-Agua fuente	52
Tabla 23: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 2-Agua tratada en la condición inicial.....	53
Tabla 24: Caracterización de la calidad de agua en el Punto3- Efluente de la PTAR.....	55
Tabla 25: Evaluación de la viabilidad del Equipo de Osmosis Inversa.....	57
Tabla 26: Balance y distribución del agua proyectado con el nuevo Equipo de Osmosis Inversa en Planta 3	58

Tabla 27: Balance y distribución del agua tratada proyectado con el Equipo de Osmosis Inversa nuevo en Planta 3	59
Tabla 28: Balance en la Torre de enfriamiento utilizando agua blanda y agua permeada ..	60
Tabla 29: Evaluación de la viabilidad del Sistema de Ultrafiltración	61
Tabla 30: Balance del agua al implementar el reúso del agua residual con tecnología de membrana de Ultrafiltración y Osmosis inversa en OPP Film	62
Tabla 31: Resumen del volumen de agua fuente extraído y para vertimiento proyectado en cada proceso en Planta 2 y 3 implementado el sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa en serie	64
Tabla 32: Determinación de ahorro proyectado con la implementación de un sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa en serie reutilizando el agua residual tratada en Planta 2 y 3	65
Tabla 33: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 4-Ingreso al Sistema de Ultrafiltración (UF) y en el Punto 5 – Agua productos del Sistema de Ultrafiltración (UF)	68
Tabla 34: Determinación del porcentaje de remoción de sales del sistema de Ultrafiltración (UF)	69
Tabla 35: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 6-Agua de alimentación y Punto 7- Agua permeada del Equipo de Osmosis Inversa (RO) PT3 implementado y evaluación del performance	71
Tabla 36: Evaluación de la aptitud de la calidad del agua permeada para uso en sistema de enfriamiento	73
Tabla 37: Evaluación de la aptitud de la calidad del agua permeada para uso en consumo para agua potable (duchas)	74
Tabla 38: Resumen del volumen de agua fuente extraído y agua para vertimiento en cada proceso en Planta 2 y 3, considerando en funcionamiento solo el Equipo Osmosis inversa nuevo PT3	75
Tabla 39: Determinación del ahorro al funcionar solo el nuevo equipo de Osmosis inversa en Planta 3 y utilizar como agua de alimentación al 100% el agua fuente.....	77
Tabla 40: Beneficios económica calculado a partir del ahorro con la implementación del Sistema de Ultrafiltración (UF) y/o Equipo de Osmosis inversa (RO).....	79
Tabla 41: Costo de tratamiento para el funcionamiento del UF y RO en serie	80
Tabla 42: Costo de tratamiento cuando funciona solo el Equipo de RO PT3	80
Tabla 43: Determinación del tiempo de retorno de la inversión	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de proceso simplificado.....	12
Figura 2: Proceso del metalizado al vacío	18
Figura 3: Tipo de membrana según tamaño de partículas	21
Figura 4: Ubicación de la Planta 2 y 3 de OPP FILM.....	28
Figura 5: Diagrama de distribución inicial del agua en la Planta No2 y 3 de OPP FILM ..	30
Figura 6: Diagrama de flujo del tratamiento al agua residual tratada una vez implementado el Proyecto.....	35
Figura 7: Organigrama actual de WET Chemical Perú.....	37
Figura 8: Balance final de agua de Planta 2 y 3 en la condición inicial.....	50
Figura 9: Balance y diagrama con el proyecto de implementación del Ultrafiltración y Osmosis Inversa en serie, reutilizando el agua residual tratada en la Planta 2 y 3.....	63

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Balance de agua y distribución de agua fuente de la situación antes del Proyecto en Planta 2 y 3.....	92
Anexo 2: Balance de agua y distribución del agua permeada de Planta 2 en la condición inicial.....	93
Anexo 3: Balance de agua y distribución del agua blanda de Planta 3 en la condición inicial.....	94
Anexo 4: Balance y distribución del agua con la implementación de un Equipo de Osmosis nuevo en PT3.....	95
Anexo 5: Resultado de la corrida para el diseño del Ultrafiltración	96
Anexo 6: P&ID del Sistema de Ultrafiltración de Planta 2 - OPP Film.....	99
Anexo 7: Especificaciones técnicas de los componentes del Equipo de Ultrafiltración ...	100
Anexo 8: Diagrama del sistema de Ultrafiltración PT2-OPP Film, ubicado en Panel del tablero eléctrico	106
Anexo 9: Resultado de la corrida para el diseño del Osmosis Inversa.....	107
Anexo 10: Especificaciones técnicas de los componentes del Equipo de Osmosis Inversa nuevo de PT3	109
Anexo 11: Resultados de la caracterización del agua de alimentación del Equipo de Osmosis Inversa implementado en PT3 en la puesta en marcha	116

RESUMEN EJECUTIVO

La fuente de agua subterránea cubre en más del 90% la demanda del sector industrial, ésta se caracteriza por tener altas concentraciones de sales, sólidos disueltos, dureza y trazas de metales, haciéndola no apta para uso directo en procesos industriales; ante ello nace la necesidad de implementar sistemas de tratamiento mediante tecnologías que acondicionan la calidad de agua para su uso. En los últimos años la presión sobre esta fuente se ha incrementado significativamente, lo que permite indicar que su disponibilidad a futuro dependerá del uso sostenible actual de sus usuarios; siendo la principal fuente para las industrias, éstas tienen la necesidad de implementar procesos de mejora tanto para el uso de agua fuente como el reúso de los efluentes.

Ante la necesidad de las industrias y otros sectores de implementar procesos para el uso eficiente del agua desde su extracción hasta su disposición, nace WET Chemical Perú, empresa dedicada a brindar soluciones integrales en el uso y reúso del agua en los diferentes procesos industriales. Para el desarrollo de un proyecto, como primer paso se realiza el análisis de la situación inicial del uso de agua en toda la cadena de proceso, posterior a ello se evalúan los procesos que mejoren su eficiencia; se consideran como alternativas la mejora en los procesos existentes y/o la implementación de nuevas tecnologías.

El presente proyecto presenta como resultados el ahorro en el volumen de agua fuente extraída y volumen de agua para vertimiento, al reutilizar el agua residual implementando las tecnologías de membranas de ultrafiltración y osmosis inversa; para el desarrollo del mismo se aplicó la siguiente metodología: inicialmente se analizó las condiciones iniciales de flujo y calidad del agua desde su extracción hasta su disposición final, luego se evaluó los procesos que optimicen el reúso de agua residual y finalmente se evaluó el performance de los sistemas de tratamientos implementados.

I. INTRODUCCIÓN

En el trabajo de suficiencia profesional, mediante el desarrollo de un proyecto, se busca plasmar las habilidades, conocimientos, competencias y experiencia obtenida en el ejercicio de la carrera de ingeniería ambiental. El desempeño de la profesión se ha desarrollado en el área de proyectos & desarrollo para optimización de uso de agua y energía en la industria, de la empresa WET Chemical Perú S.A.; empresa dedicada a brindar soluciones integrales en el uso y reúso del agua en los diferentes procesos industriales de empresas del sector industrial, productivo y minero. El área de ventas identifica la necesidad del cliente y lo deriva al área de proyectos & desarrollo, en primera instancia, se realiza el análisis de la situación inicial del uso de agua en toda la cadena de proceso, posterior a ello se evalúan los procesos que mejoren la eficiencia del uso del agua; se consideran como alternativas la mejora en los procesos existentes y/o la implementación de nuevas tecnologías.

De los proyectos que se han venido desarrollando para varios clientes, se ha elegido el que permite exponer de manera completa los conocimientos adquiridos durante la carrera. Lo aprendido en el curso de procesos industriales permitió describir e identificar los procesos unitarios, las líneas de ingreso y salida que permiten realizar un balance de agua; los cursos de contaminación de aguas e ingeniería de aguas residuales brindaron los cimientos para determinar los parámetros a caracterizar en una fuente de agua y establecer un programa de monitoreo con indicadores (parámetros, flujo de agua, etc.) que permitan evaluar las mejoras implementadas en un proceso.

El proyecto se desarrolló para la empresa OPP Film, una industria que pertenece al sector manufacturero dedicada a la fabricación de productos plásticos, producción de películas de polipropileno y poliéster para ser utilizadas como empaques y similares. En la actualidad cuenta con cinco plantas de producción distribuidas de la siguiente manera, cuatro (Planta 1, 2, 3 y 4) se ubican en el distrito de Lurín y una (Planta 5) en el distrito de Chilca.

Las Planta 2 y 3 cuentan con instalaciones principales y auxiliares, se ubica dentro de estas un almacén de materia prima, insumo , producto terminado, nave de láminas y rehabilitación de residuos de polipropileno, oficinas administrativas, comedor, vestuarios, planta de tratamiento de agua fuente, planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), áreas verdes, entre otros (Environmental Hygiene & Safety, 2018).

La PTAR fue diseñada para el tratamiento de aguas residuales domésticas, sin embargo, antes de la intervención venía tratando agua residual doméstica combinada con agua residual industrial por exceder la capacidad de almacenamiento de ésta última. El efluente industrial se caracteriza por tener altas concentraciones de sales y compuestos inorgánicos, los que reducen la eficiencia de tratamiento para remoción de la carga orgánica y microbiológica. En estas condiciones, la calidad del agua residual tratada no era uniforme y no se cumplían permanentemente los estándares de calidad requeridos para su reúso en el riego de áreas verdes, siendo necesario cubrir la demanda del riego de áreas verdes con el agua fuente. El volumen de agua residual tratada de la PTAR superaba la demanda requerida para el riego de áreas verdes, en consecuencia, el exceso debía disponerse como agua para vertimiento mediante una empresa prestadora de servicios (EPS).

Como se ha explicado, el incremento en el volumen de agua fuente extraída para cubrir la demanda en el riego de áreas verdes cuando la PTAR no ofrecía una calidad de agua óptima y en el volumen de agua para vertimiento, por el excedente del agua residual tratada, generaba impacto económico y ambiental en la empresa.

OPP Film con la finalidad de reducir el volumen de agua fuente extraída y el de vertimiento, solicitó una propuesta que permita mejorar la calidad de agua residual tratada y así reutilizarla en el riego de áreas verdes y otros procesos. WET Chemical, diseñó e implementó un sistema de tratamiento avanzado con tecnologías de ultrafiltración y osmosis inversa para satisfacer esta necesidad. El agua producto obtenida del sistema de ultrafiltración se reutiliza para el riego de áreas verdes y aporta al tanque de alimentación del equipo de osmosis inversa nuevo, el agua permeada obtenida de este último se utiliza como agua de reposición en las torres de enfriamiento y otros procesos auxiliares; se tiene la finalidad de reutilizar el agua residual, mejorando su calidad para luego reinyectarla en la cadena de suministro de agua.

El presente trabajo inicia su desarrollo describiendo la situación inicial del uso de agua en la empresa OPP Film y su necesidad de gestionarla adecuadamente; se responde a la siguiente interrogante ¿el agua residual puede reutilizarse mediante la aplicación de las tecnologías de ultrafiltración y osmosis inversa?, con esta premisa se delimitan los objetivos que responderán a esa interrogante, luego se establecen los antecedentes, definiciones y demás conceptos que sustentan el desarrollo del proyecto, todo ello como parte del desarrollo del marco teórico ; seguido se describe y determina la metodología mediante la cual va permitir obtener los resultados acorde a los objetivos trazados , posterior a su análisis se suscribe las conclusiones y recomendaciones.

Este proyecto tiene como objetivo evaluar el reúso del agua residual en una industria de plásticos mediante implementación de tecnologías de ultrafiltración y osmosis inversa, con su desarrollo se logra reutilizar el agua residual tratada, mejorando su calidad y haciéndola apta para reinyectarlo en la cadena de suministro; se reduce el volumen de agua fuente extraída y el volumen de agua a disponer con una EPS, esto permite obtener beneficios económicos y ambientales a la industria.

II. OBJETIVOS

2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el reúso del agua residual en una industria de plásticos mediante implementación de tecnologías de Ultrafiltración y Osmosis inversa.

2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a. Analizar las condiciones actuales de flujo y calidad del agua desde la fuente hasta su disposición final.
- b. Evaluar procesos que optimicen el reúso del agua residual.
- c. Evaluar el performance de un sistema de tratamiento avanzado de agua residual con tecnología de Ultrafiltración y Osmosis inversa.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. SITUACIÓN DEL AGUA EN LIMA

3.1.1. Agua fuente

En la vertiente del Pacífico se encuentran las Cuencas Chillón-Rímac-Lurín, éstas tienen el objetivo de cubrir la demanda de agua para uso consuntivo (poblacional, minero, agrícola e industrial) y no consuntivo (energético) de Lima Metropolitana. Se reporta que la oferta hídrica anual de las tres cuencas suman un total de 1484 MMC, de las cuales 1238 MMC provienen de fuente de agua superficial y 246 MMC de fuente de agua subterránea, de ésta última el 10% es abastecida por la Cuenca Lurín y el 90% por las Cuencas Chillón – Rímac (AQUA FONDO, 2016). Según el índice de escasez hídrica, referido a la cantidad de agua dulce disponible per cápita anual, se señala que valores menores a 500 m³/Hab/año se clasifican con “escasez absoluta de agua” (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura-FAO, 2013); las Cuencas Chillón – Rímac reportan un valor de 125 m³/Hab/año (PROACC, 2019). De lo indicado se infiere que la presión sobre fuentes de agua subterránea se incrementará, ya que la demanda de agua no se logra satisfacer solo con agua de fuente superficial.

La demanda de agua subterránea en las Cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca se ha incrementado en los últimos años, registrándose una demanda de 164 MMC y 309 MMC para los años 2013 y 2017, respectivamente. En el 2017, la demanda de agua para uso industrial fue cubierto con 101 MMC (91%) por fuente de agua subterránea y 9 MMC (9%) por fuente de agua superficial (Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín-OA CHIRILU, 2019). De aquí se tiene que el agua subterránea es fuente principal para el abastecimiento de las industrias y de no aprovecharla eficientemente su disponibilidad en cantidad y calidad se reduce a futuro; por ello los usuarios están en la necesidad de encontrar alternativas que reduzcan la presión sobre su uso, considerando entre ellas el reúso del agua residual.

3.1.2. Aguas residuales

Son aquellas aguas que luego de ser utilizadas, sus características originales se ven modificadas por la actividad antropogénica y que antes de ser reutilizadas o dispuestas en cuerpo de agua y/o alcantarillado deben tener un tratamiento previo. De acuerdo a su origen, estas se pueden clasificar en aguas residuales domésticas, municipales e industriales (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA, 2014).

Dependiendo de la industria la calidad del agua residual varía entre procesos; por lo general el agua de proceso, de limpieza y/o refrigeración convergen sobre una misma tubería de descarga y tanque de almacenamiento, éstas se conocen como aguas residuales industriales y son tratadas a través de una Planta de tratamiento de aguas residuales industriales (PTARI); las de características asimilables a las domésticas son tratadas y almacenadas de manera separada, el sistema de tratamiento en este caso se conoce como Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR).

El Decreto Supremo No 021-2009-VIVIENDA establece los valores máximos admisibles (VMA) para las descargas de aguas residuales no domésticas, el anexo 1 considera como parámetros de control la DBO₅, DQO, sólidos suspendidos totales y aceites y grasas, esto es de obligatorio cumplimiento para todos los usuarios; de los diecinueve parámetros que se listan en el anexo 2, su cumplimiento depende del tipo de la actividad económica, para ello se toma de referencia la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU)(Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009). La Resolución Ministerial No 360-2016-VIVIENDA modifica el anexo de la Resolución Ministerial No 116-2012-VIVIENDA, en donde se aprueban los valores máximos admisibles (VMA) en función de la Clasificación Industrial Internacional Uniforme (CIU) (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2016).

En el Decreto Supremo No 003-2010-MINAM se determinan los límites máximos permisibles (LMP's) para los efluentes de Plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas o municipales (PTAR), considera los siguientes parámetros de control : aceites y grasas, coliformes Termotolerantes, DBO₅, DQO, pH, sólidos suspendidos totales y temperatura (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2010) ; si bien es importante que el efluente obtenido cumpla con los LMP's, también lo es evaluar la eficiencia de tratamiento, para

lograr ello se hace necesario que los parámetros de entrada de la PTAR a monitorear como mínimo sean los mismos que los de salida.

La Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR) doméstica de Rio Frio en Colombia utiliza reactores UASB (tratamiento primario) y lagunas facultativas (tratamiento secundario) las cuales operaran desde 1990; en pro de evaluar la eficiencia de los reactores UASB, se realizó un estudio , iniciando para ello con la caracterización del afluente de la PTAR con los siguientes parámetros: caudal, DBO₅, DQO, relación DQO/DBO₅, sólidos suspendidos totales, temperatura, pH, nitrógeno Kjeldahl total y fósforo total (Salazar-Larrota et al., 2019); estos mismos se utilizaron para caracterizar el efluente obtenido luego del tratamiento con los reactores UASB. En la Tabla 1 se muestra los resultados obtenidos.

Tabla 1: Valores promedios de afluente PTAR Rio Frio y el efluente tratado por reactores UASB

Parámetro	Unidad	Afluente PTAR	Efluente de reactores UASB				
			1	2	3	4N	4S
Caudal	l/s	475	132.0	120.0	120.0	52.0	52.0
DQO	mg/l	766	367.0	356.0	327.0	396.0	395.0
DBO ₅	mg/l	374	128.0	119.0	111.0	138.0	137.0
DQO/DBO ₅	-	2.0	2.9	3.0	3.0	2.9	2.9
Sólidos suspendidos	mg/l	328	134.0	129.0	106.0	142.0	142.0
Temperatura	°C	26	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0
pH	-	7.7	7.0	7.0	7.0	7.0	7.0
Nitrógeno Kjeldahl Total	mg/l	62.5	62.6	64.0	58.0	63.8	63.3
Fósforo Total	mg/l	10.2	10.1	10.5	9.7	10.3	10.3

FUENTE: Salazar-Larrota et al. (2019)

En la Tabla 2 se identifica los parámetros básicos a tomar en cuenta para caracterizar el agua residual doméstica, los mismos que pueden ser monitoreados al ingreso y salida de su tratamiento.

Tabla 2: Parámetros para monitorear en una PTAR

Parámetro	Unidad	Entrada PTAR	Salida PTAR
DQO	mg/L	X	X
DBO ₅	mg/L	X	X
Sólidos suspendidos totales	mg/L	X	X
Aceites y grasas	mg/L	X	X
pH	-	X	X
Coliforme Termotolerantes	NMP/100 ml	X	X*
Huevos de Helmintos	huevos/L		X*

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: * cuando se requiere reutilizar el agua para riego de áreas verdes, según Guía OMS 1989.

Nota 2: Se recomienda realizar el monitoreo de los parámetros de entrada y salida con una frecuencia semestral para evaluar el performance del tratamiento. De manera mensual se debe monitorear los parámetros críticos de salida y/o los obligatorios según normativa.

Cuando el agua de abastecimiento tiene como fuente el agua subterránea y para su uso pasa por un proceso de ablandamiento, se requiere considerar los siguientes parámetros para caracterizar el agua residual: conductividad, cloruros, sulfatos, dureza o en su defecto los iones de sodio, calcio y magnesio.

3.1.3. Reutilización de aguas residuales

En los últimos años, el volumen de aguas residuales industriales con autorización de vertimiento se ha incrementado, para el departamento de Lima en el 2013 y 2016 se vertía un volumen de 11.23 MMC/año y 36.71 MMC/año respectivamente (Ministerio del Ambiente-MINAM-SINIA, 2019). Estos volúmenes representan millones de metros cúbicos (MMC) de agua por año que son desaprovechados, sumado al riesgo de deteriorar la calidad de agua de los cuerpos receptores en el caso los tratamientos aplicados no sean efectivos; en este contexto se hace necesario reutilizar las aguas residuales.

En base a las autorizaciones para reutilizar las aguas residuales dadas por la Autoridad Nacional del Agua (ANA), se ha determinado que estas son utilizados para riego, recirculación de procesos, riego y mitigación ambiental, mitigación ambiental, limpieza y

mantenimiento, riego , limpieza y mantenimiento (Aquino,2017). En la Tabla 3 se muestra el volumen de agua utilizada por cada uso.

Tabla 3: Volumen de agua residual tratada según uso

Usos del agua residual tratada	Promedio (MM3/año)
Riego	10.966
Recirculación en procesos	5.744
Riego y mitigación ambiental	0.258
Mitigación ambiental	0.111
Limpieza y mantenimiento	0.035
Riego, limpieza y mantenimiento	0.008

FUENTE: Aquino (2017)

Nota: 1MM³ es equivalente a 1 HM³

La aplicación de tratamientos secundarios sin desinfección permite utilizar el agua residual en riego de vegetales de tallo alto, cultivos industriales y reforestación; si se aplica desinfección se puede utilizar en riego de áreas verdes, viveros, centros recreativos, piscigranjas, lavado de autos, piletas y lagunas artificiales. Con la aplicación de tratamiento terciario mediante sistemas de filtración, destilación, osmosis inversa, etc., puede ser reutilizada para recarga industrial y de acuíferos. (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2009). Mediante la aplicación de tratamientos secundarios y terciarios se depuran contaminantes orgánicos, microbiológicos u otros presentes en el agua, de esta manera se pueda reutilizar y evitar su desperdicio (DOMOS Agua, 2019).

El reúso del agua residual tratada se presenta como una gran alternativa para reducir los problemas de escasez de agua y reducción de contaminación de cuerpo de agua por vertimiento de efluentes no tratados correctamente. Esta medida se ha implementado en Perú como en otros países, líneas abajo se cita algunos casos.

a. Experiencias en Perú

El Proyecto SWITCH “Panorama, tratamiento y uso de aguas residuales y agricultura urbana y peri-urbana en Lima Metropolitana” lista 37 casos en donde se utiliza el agua residual para los procesos productivos (agricultura y acuicultura) y recreativos (áreas verdes, campos

deportivos y parques), de estos, 34 reúsan el agua residual con tratamiento y tres casos con agua residual sin tratar (IPES et al., 2011).

La empresa Unión de Cervecerías Peruanas Backus y Johnston (BACKUS) tiene una Planta de tratamiento de aguas industriales en su Planta Maltería ubicada en Chaclacayo que genera un efluente tratado de 341775 m³/mes, inicialmente un porcentaje lo utilizaban para el riego de áreas verdes su planta y lo restante se disponía en el río Rímac. En pro de reducir sus impactos ambientales, proteger las fuentes de agua naturales y lograr un aprovechamiento sostenible del recurso hídrico, implementó un proyecto donde el efluente tratado pueda ser utilizado también por agentes externos (Union de Cervecerias Peruanas Backus y Jhonston S.A.A., 2018). En la Tabla 4 se muestra el volumen distribuido.

Tabla 4: Distribución de reúso de agua residual tratada

Descripción	Fuente	Riego de áreas verdes de Planta Maltería	Reúso IPSA	Reúso proyecto Municipalidades	Cuerpo receptor
		m ³ /mes	m ³ /mes	m ³ /mes	m ³ /mes
Efluente	PTAR	5000	18980	1000	9197.5
Total			34177.5		

FUENTE: Union de Cervecerias Peruanas Backus y Jhonston S.A.A. (2018)

Se realizó la caracterización del efluente de la PTAR para evaluar el cumplimiento de lo propuesto, los resultados se muestran en la Tabla 5.

Tabla 5: Caracterización del efluente de la PTAR

Parámetro	Unidad	Límites Máximos Permisibles D.S. No 003-2002-PRODUCE y IFC/BM	Resultados
			V-1(efluente de la PTAR)
Fisicoquímicos			
Aceites y grasas	mg/l	5*	3.1
DBO ₅	mg/l	50*	11.3
DQO	mg/l	250*	130
Solidos totales en suspensión	mg/l	50*	46
Parámetros de campo			
Temperatura	°C	35	20.64

«continuación»

pH	-	6.0-9.0	8.16
Microbiológicos y parasitológicos			
Coliformes totales	NMP/100 ml	400**	2.0 x 10
Coliformes fecales	NMP/100 ml	<1000***	<1.8

FUENTE: Union de Cervecerias Peruanas Backus y Jhonston S.A.A.(2018)

Nota 1: * D.S. No 003-2002 PRODUCE, aplicable solo al efluente final.

Nota 2: ** IFC/BM Corporación de Finanzas Internacional del Banco Mundial

Nota 3: *** OMS Categoría A: riego de cultivos que comúnmente se consumen crudos, campos de deporte, parques públicos.

En base a los resultados se concluye que la calidad de agua del efluente de la PTAR es apta para reuso en riego de áreas verdes, lo que hace que el proyecto a implementar sea viable. Se reutiliza un volumen de 19980 m³/mes.

b. Experiencias Internacionales

En el Condado de San Diego utilizan el agua reciclada (tratamiento y desinfección del agua residual) para llenar lagos, lagunas, fuentes ornamentales, irrigación de parques, campos de golf, camino en las carreteras, zonas de áreas de comunidades, campos atléticos en colegios, cultivos de alimentos y para control de polvo en construcciones (San Diego County Water Authority, 2019). En el capítulo 3, reciclaje de agua, de la división 4 del Título 22 del código de regulaciones de California, se establecen los usos del agua reciclada, dentro de las que se tienen uso para riego, embalses, sistemas de enfriamiento y otros fines. Para el uso en riego, se consideran los conceptos de agua reciclada secundaria 2.2. desinfectada, agua reciclada secundaria 2.2. desinfectada y agua terciaria reciclada desinfectada (THOMSON REUTERS WESTLAW, n.d.).

La empresa Owens Illinois es una empresa dedica a la fabricación de vidrio, en su planta en Sao Paulo-Brasil trata sus aguas residuales con procesos convencionales (tratamiento fisicoquímico, reactor biológico, filtro de arena y de carbón) y las reutiliza para sus torres de enfriamiento, sin embargo, una de sus líneas de procesos contaminó el agua tratada, haciendo que no cumpliera con los parámetros de calidad para agua de reposición de caldera, según se indica en la Tabla 6. En pro de esta necesidad, la empresa Ecopolo propuso un sistema de tratamiento complementario al tratamiento convencional actual que tienen, para eso

implementó un sistema de ultrafiltración (cuatro membranas) y seguido de esto un sistema de osmosis inversa (6 membranas). El esquema de tratamiento se visualiza en la Figura 1 (Toray, 2017).

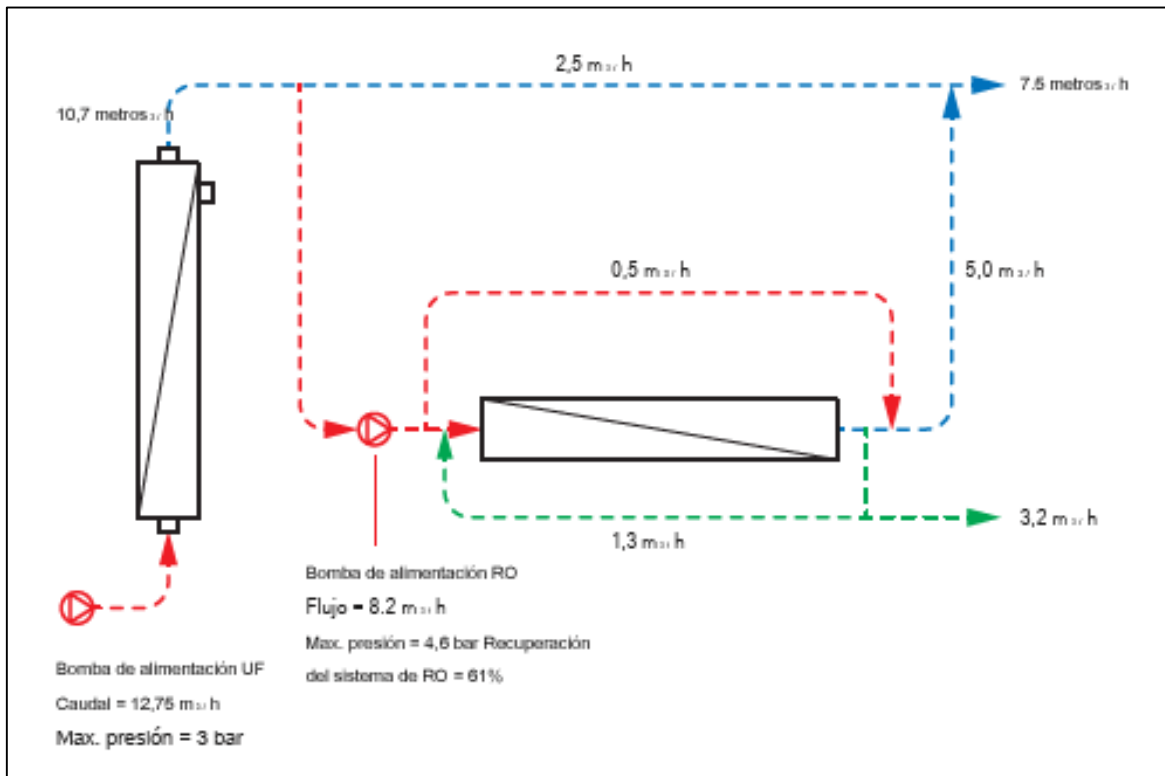


Figura 1: Diagrama de proceso simplificado

Se describe el flujo de agua, desde que ingresa al sistema de Ultrafiltración (UF) hasta obtener el agua permeado, el cual es de 7.5m³/hr.

FUENTE: Toray (2017)

La Tabla 6 señala los requisitos de calidad para el sistema de vapor, también muestra los resultados de la calidad de agua obtenida con el tratamiento convencional y con el avanzando (ultrafiltración y osmosis inversa).

Tabla 6: Calidad de agua para reposición para Caldera

Parámetro	unidad	Calidad objetivo	Reutilizar la calidad del agua (según tipo de tratamiento)	
			Convencional	RO/UF avanzado
Turbiedad	NTU	< 10	38	< 1
DBO5	mg/L	< 10	43	4

«continuación»

Cloruro	mg/L	< 30	222	24
Dureza total	mg/L CaCO ₃	< 50	178	31
Sílice total	mg/L	< 20	25	4
Hierro total	mg/L	< 0.5	0.66	< 0.05

FUENTE: Toray (2017)

En base a los resultados obtenidos, se infiere que la calidad de agua mejora notablemente y lograr satisfacer los requerimiento de calidad, lo que permite que los ciclos de concentración en la caldera se incrementen de 2 a 3.5 , asimismo se reduce en 52% la generación de efluentes (Toray, 2017).

3.2. PROCESOS UNITARIOS DE LA EMPRESA OPP FILM

Los envases para alimentos tienen que ofrecer protección y ser de fácil transporte, normalmente se han utilizado envases rígidos , sin embargo, poco a poco se ha ido incrementando la tendencia de usar envases flexibles tales como películas de film o bolsas; la migración se debe en parte a que con esto se reduce el material a utilizar para el envase y se ahorra el peso, sin perder su funcionalidad (Illanes Esparza, 2004).

La cadena de proceso para la obtención de películas flexibles se constituye de la línea de proceso productivo y procesos o servicios auxiliares, estos últimos son aquellos que apoyan al funcionamiento de toda la cadena de proceso.

3.2.1. Procesos y/o servicios auxiliares

a. Sistema de tratamiento de agua fuente

El agua subterránea es la principal fuente de abastecimiento del sector industrial, satisface su demanda en más del 90% (Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín -OA CHIRILU, 2019), se caracteriza por tener concentraciones altas de sales tales como calcio, magnesio y sulfatos (contribuyentes de dureza total), valores de conductividad por encima de 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, trazas de hierro, nitratos, sílice, etc., todos ellos en su mayoría compuestos inorgánicos.

En la Tabla 7 se muestra la calidad de agua de fuente subterránea promedio de la Zona 1, el cual lo constituyen los distritos de Lurín, Punta hermosa y parcialmente Villa el Salvador. El distrito de Lurín se clasifica en parte alta, media y baja; esta última considera las zonas de San Pedro, San Vicente, San Antonio, Playa Mamacona y otras hasta el límite del litoral (Autoridad Nacional del Agua-ANA, 2019).

Tabla 7: Caracterización de agua subterránea en la Zona 1 del acuífero de Lurín

Parámetros	unidad	Rango
pH	-	6.79 - 8.41
Conductividad	μS/cm	1390 - 5120
Sólidos disueltos totales	mg/L	230 - 2560
Cloruros	mg/L	39.43 - 4293
Sulfatos	mg/L	81.64 - 1702
Magnesio	mg/L	7.397 - 283.4
Boro	mg/L	0.187 - 3.169

FUENTE: Elaboración propia, extracción de datos Autoridad Nacional del Agua-ANA(2019)

Nota 1: los valores de pH, conductividad, solidos disueltos totales obedecen al rango de la parte baja de Lurín.

Nota 2: La unidad de medida en el estudio para la conductividad esta dado en mmhos/cm, los cuales se convirtieron a μS/cm, considerando que 1 mmhos/cm equivale a 1000 μS/cm; la unidad de medida de sólidos disueltos del estudio está en gr/L, se realizó la conversión a mg/L, utilizando como factor de conversión 1000.

Por las características antes mencionadas, el agua fuente no puede ser utilizada directamente, siendo necesario la implementación de un sistema de tratamiento que asegure la calidad para el uso en equipos, sistemas de enfriamiento y abastecimiento (cocina, duchas y servicios higiénicos). Dentro de las tecnologías que se pueden considerar son el uso ablandador (para remoción de dureza), sistema de osmosis inversa (remoción de sales, virus, bacterias, metales), sistemas de filtración (remoción de sólidos), etc.; la elección de la tecnología va depender de la calidad de agua que se requiera.

b. Sistema de enfriamiento

Los sistemas de enfriamiento de circuitos abiertos recirculantes (torre de enfriamiento) y circuitos cerrados (chiller) tienen el objetivo de enfriar el agua de procesos. Los chiller son

sistemas que se encuentran dentro de los equipos y máquinas, en donde mediante un intercambiador de calor y refrigerante disipan su calor; los sistemas abiertos como torres de enfriamiento, por el contrario, son sistemas separados de los equipos, donde reciben el agua a temperaturas elevadas y mediante un sistema de ventilación reducen la temperatura para hacerla idónea para retornarla al proceso.

Las torres de enfriamiento disipan una gran cantidad de calor por medio de la evaporación y reducen su volumen por purgas realizadas para reducir problemas de incrustación, ello lleva a tener que reponer el volumen de agua perdida para mantener el ciclo de funcionamiento. Para reducir las pérdidas de agua y energía por purga, se toma como medida el incrementar el número de veces que cicla el agua; para no tener problemas de incrustación y corrosión se hace necesario que el agua de reposición se caracterice por tener bajas concentraciones de dureza, conductividad, sólidos disueltos totales y cloruros. En la Tabla 8 se muestran los parámetros de calidad para el agua de reposición.

Tabla 8: Parámetros de calidad de agua de reposición de Torre de enfriamiento

Parámetros	Unidad	Valor
pH	-	9.0-10.5
Conductividad	μS/cm	< 1500
Dureza	mg/l CaCO ₃	149.52
O ₂	mg/l	< 0.02
Fe	mg/l	< 0.2

FUENTE: Bruckner Maschinenbau (n.d.)

Nota: libre de algas y sólidos suspendidos

Si bien la calidad del agua de reposición es importante para optimizar el funcionamiento del sistema de enfriamiento y reducir pérdidas por purgas, es la calidad de agua en la torre la que determina el número de veces máximo que puede ciclar el agua antes de purgar. En la Tabla 9 se muestran los parámetros de calidad de agua de la Torre.

Tabla 9: Calidad del agua de la torre

Parámetros	Unidad	Valor
pH	-	7.5-8.5
Conductividad	μS/cm	< 2200

«continuación»

Dureza	mg/l CaCO ₃	71.2
Dureza	mg/l CaCO ₃	356*
Cloruros	mg/l	< 200
Sulfatos	mg/l	< 325
Consumo de KMnO ₄	mg/l	100
Gérmenes	1/ml	< 10000

FUENTE: Bruckner Maschinenbau (n.d.)

Nota 1: * con estabilizador químico

Nota 2: libre de algas y sólidos suspendidos

Nota 3: Debido a la evaporación del agua de la torre, se debe realizar un proceso de desalación, que debe controlarse mediante mediciones de conductividad. Por ejemplo, es necesario el uso de preventivos de la corrosión, estabilizadores de dureza y pesticidas de algas.

En los circuitos cerrados, conocidos como Chiller, el porcentaje de pérdida de agua es reducida en comparación con los circuitos abiertos. Al ser un circuito que permanece ciclando de manera constante, se requiere que el agua inicial tenga condiciones óptimas (bajas concentraciones de sales y metales como hierro o cobre) para evitar problemas de incrustación y/o corrosión.

3.2.2. Proceso productivo para obtención de películas para empaques flexibles

a. Producción de películas de Polipropileno Biorientado (BOPP), Poliestireno Biorientado (BOPET) y Polipropileno sin Orientación (CAST)

Los procesos de fabricación de las películas BOPP y BOPET son similares en el desarrollo de su producción, sin embargo, difieren en parámetros y condiciones de operación. En el caso de las películas CAST, los procesos son similares a la de BOPP, pero sin la etapa de orientación (Chiuvari, 2019).

- **Dosificación de Materia Prima:** la materia prima está constituida de resina, aditivos y re-gránulos, estas son contenidas en la tolva de la máquina extrusora. Para sistema de almacenamiento, transporte y dosificación puede estar compuesto por silos, ciclones, compresores, tanques intermedios u otros.

- **Extrusión:** proceso mediante el cual se da forma a una lámina a partir de un polímero o plástico sólido (pellet), que son sometidas a altas temperaturas y presión forzándola a salir por una abertura (en el caso de películas planas, el dado es plano) dispuesta. Cuando a través de un mismo dado se pasan simultáneamente láminas provenientes de diferentes extrusores, el proceso se llama coextrusión. Este proceso permite formar capas adicionales a la lámina principal para tener una mayor barrera de protección. Las láminas que salen del proceso de extrusión se encuentran a altas temperaturas, por lo que se requiere pasar por un proceso de enfriamiento para obtener el espesor deseado (Chiuyari, 2019).

- **Unidad de Casting:** en esta unidad se realiza el enfriado de la masa fundida, obteniéndose así una lámina base enfriada correctamente. Este proceso es importante ya que un alto ratio de enfriamiento produce una película con superficie de baja rugosidad, permitiendo que la luz incidente se disperse en menos cantidad y el film resulte más transparente y brillante, se mejora así sus propiedades ópticas (Chiuyari, 2019). De acuerdo a lo indicado por Chiuyari (2019), el proceso de enfriamiento se compone de las siguientes partes:
 - Chill Roll (Rodillo enfriador)
 - Water Bath (Baño de agua)
 - Air Knife (Cuchilla de aire)
 - Air Pipe (tubos con aire)

- **Orientación:** aplica para las películas de BOPP y BOPET, el proceso consiste en realizar el estiramiento de la película tanto de manera transversal como longitudinal (en dirección de máquina).

- **Medición de espesor:** se mide el espesor de las láminas finales de manera continua y sin contacto directo, para ello se apoyan en un Pull Roll Stand (PRS).

- **Tratamientos:** la lámina final tiene superficie apolar, por lo que es conveniente pasar por tratamiento para que cambie su polaridad, de lo contrario traería problemas al momento de querer adherirla a compuestos polares tales como el papel. Se puede

adicionar altas concentraciones de oxígeno sobre la superficie de las láminas para generar grupos funcionales polares.

- Embobinado y Refilado: el embobinado tiene como objetivo incrementar la dureza de la película para su posterior corte. Para lograr eso pasa por un proceso de tensión y presión, ambos tienen el objetivo de liberar el exceso de aire entre capas. En el refilado se realizan cortes a los bordes de las láminas que no fueron orientados (Chiuyari, 2019).

b. Producción de películas metalizadas

Para obtener las películas metalizadas, se aplica una capa metalizada delgada (a base de aluminio) sobre una de las capas de las películas plásticas, este proceso se conoce como metalizado al vacío. Esto incrementa el nivel de protección (barrera) en el caso de utilizarse como un empaque para alimentos. El proceso consiste en evaporar el aluminio utilizando una cámara de vacío, para posteriormente depositarlo sobre la superficie de una de las capas plásticas; por lo general este proceso es discontinuo. Terminado ello, la lámina metalizada pasa de manera inmediata a un rebobinado sobre un rodillo de enfriamiento que elimina el calor del aluminio condensado, de lo contrario habría fusión de la película.

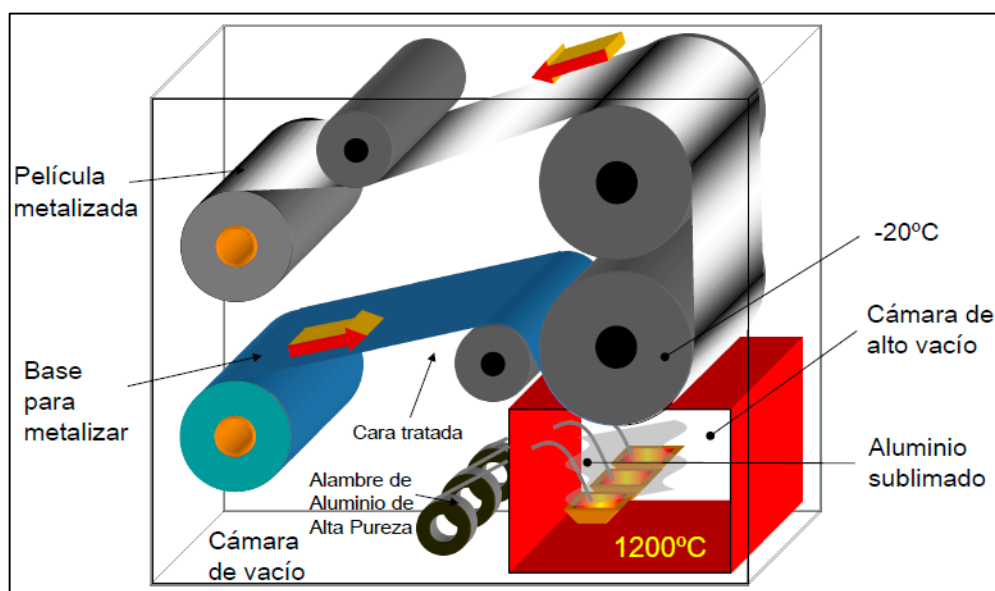


Figura 2: Proceso del metalizado al vacío

FUENTE : Chiuyari (2019)

3.3. TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES POR MBBR

La tecnología de Reactor Biológico de Lecho Móvil - MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) como sistema de tratamiento de aguas residuales es una buena opción, ya que por el tipo de funcionamiento requiere una menor área para su implementación; es aplicado cuando se requiere hacer ampliaciones en sistemas ya existentes.

a. Descripción

Un sistema MBBR es un lecho de medio biológico rotatorio que mediante sistemas de aireación (MBBR aeróbico) o agitación con mixer (MBBR anaeróbico) permite el crecimiento de la biomasa en la superficie de soportes físicos llamados portadores o carrier. En el proceso del reactor biológico de lecho móvil, se utiliza como soporte un polímero poroso suspendido que está en constante movimiento en el tanque de aireación y que la biomasa activa crece como biopelícula en la superficie de estos portadores (Loukidou & Zouboulis, 2001). En este contexto, más del 90% de la biomasa está adherida a los portadores y no suspendida en el líquido (Schmidt & Schaechter, 2011).

Adabju (2013) indica que la alta área superficial de los portadores permite controlar el rendimiento de un sistema, dando como resultado la presencia de concentraciones muy altas de biopelículas en un pequeño volumen del reactor. Esta característica de los portadores permite que una planta con sistema MBBR requiera de una menor área para tratamientos de efluentes con mismas cargas orgánicas en comparación con tratamiento de lodos activos o lechos fijos. Según Odegaard (1999) los portadores representan en promedio el 70% del volumen del reactor, aunque los valores típicos son del 67%.

El Sistema MBBR tiene como principio inmovilizar la biomasa en los portadores, eliminando la necesidad de un proceso de sedimentación y el retorno de lodos en un proceso continuo. En consecuencia, se tiene que un proceso crítico de un tratamiento biológico es mantener una alta carga orgánica en el reactor (Adabju, 2013).

La ventaja del sistema MBBR respecto a otros tratamientos con crecimiento suspendido es poder tener la mayor concentración de biomasa, son menos sensibles a los compuestos tóxicos, sufren menor afectación por la falta de largos periodos de sedimentación de lodos,

son menos propensos a las perturbaciones del proceso que se pueden dar por la sedimentación deficiente, son más rentables y han logrado eficiente remoción de productos orgánicos y amoníaco en una sola etapa (Adabju, 2013).

b. Aplicaciones

Actualmente, los sistemas MBBR son utilizados para el tratamiento de aguas residuales domésticas, municipales e industriales. Adabju (2013) señala que hay 500 plantas de tratamientos de efluentes a gran escala por procesos de MBBR en 50 países alrededor del mundo tanto para el tratamiento de efluentes del ámbito municipal como industrial. En mucho de los casos, eligen este sistema por ser un sistema compacto, ofrecer costos bajos tanto en inversión como en mantenimiento anual.

Este sistema puede trabajar de manera unitario o en combinación con otras tecnologías, tales como clarificadores convencionales, sistemas DAF, discos filtrantes y/u osmosis inversa. El sistema por MBBR es utilizado por lo general como tratamiento secundario, sin embargo, para pulir su calidad y reutilizarlo se pueden apoyar en sistemas de microfiltración y/u osmosis inversa.

Adabju (2013) menciona que en Yatala-Australia, se utilizó el sistema MBBR de dos etapas para pulir la DBO después del tratamiento anaeróbico, antes de la DAF y la microfiltración / ósmosis inversa con capacidad de 140 m³/hr, para su reutilización en agua de caldera y lavado general. Balarezo (2018), indica que un sistema MBBR como proyecto de ampliación de un sistema de tratamiento preexistente en el tratamiento de aguas residuales industriales de la industria alimentaria en Perú, tiene grandes beneficios ya que el área utilizada es de 172.98 m³, en lugar de los 401 m³ que hubiera conllevado si el sistema era con lodos activados; cabe indicar que en esta propuesta el sistema MBBR está complementado previamente con proceso de equalización, coagulación y floculación. Presenta también valores óptimos de remoción de DQO (99.13%), DBO₅ (98.64%) y SST (96%).

3.4. TECNOLOGÍA DE MEMBRANAS

La tecnología de membrana basa su funcionamiento en filtrar un líquido a través de una membrana colocada sobre un soporte físico; estas han ido evolucionando a través de los años

y han mejorado en estructura, diseño y funcionamiento, considerando obtener mejores resultados de flujo de permeados a presiones reducidas. En función del tamaño de partícula a filtrar varía el tipo de membrana a utilizar (Jimenez, 2017). En la Figura 3 se muestra el tipo de membrana en función del tamaño de partículas.

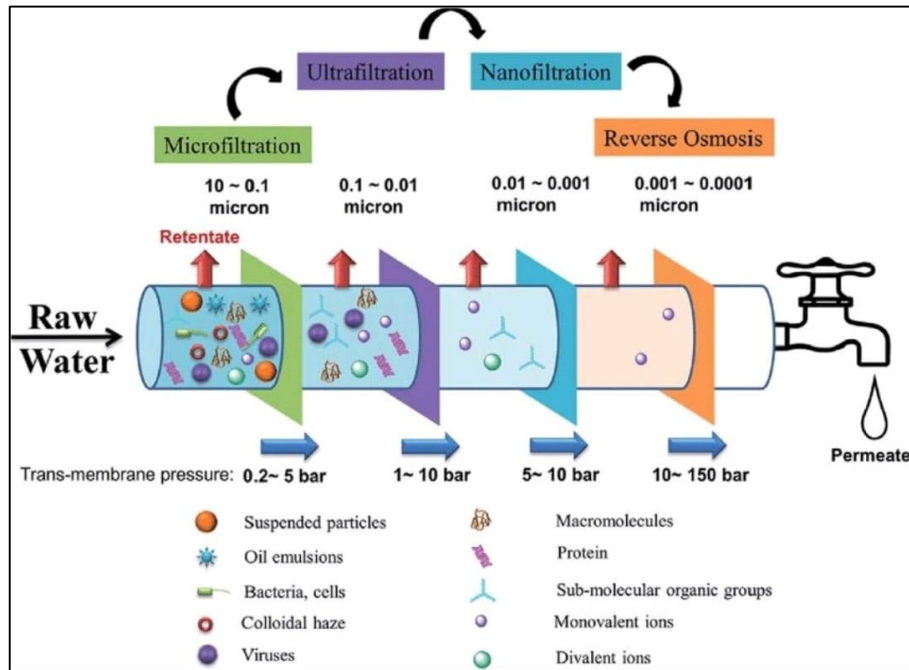


Figura 3: Tipo de membrana según tamaño de partículas

FUENTE: Washing (2021)

3.4.1. Ultrafiltración

a. Descripción

La tecnología de Ultrafiltración utiliza membranas que mediante mecanismos de selectividad ligado al tamaño de partículas remueve sólidos, turbidez y microorganismos. El tamaño de poros de la membrana determinará el tipo de contaminante a remover, cuando éstos tienen un tamaño superior al de la membrana son retenidos totalmente, pero si son menores son retenidas parcialmente. Esta tecnología es eficiente en el rango de 0.001 μm a 0.1 μm , en el cual se encuentran virus, macromoléculas y compuestos orgánicos (TOTAGUA Waste Waste Solutions, 2019).

El proceso de tratamiento mediante la tecnología de Ultrafiltración inicia con el bombeo de

agua a tratar, esta presión aplicada fuerza al agua a pasar a través de una membrana semipermeable (CARBOTECNIA, 2019) y crea una separación de partículas realmente diminutas. Dependiendo del tipo de agua a tratar se tiene que implementar un pretratamiento, diseñado para proteger a la membrana de un ensuciamiento orgánico e inorgánico, se realiza un lavado con agua a contracorriente y aire para evitar su colmatación, este se programa para realizarse de manera automática; la frecuencia de este depende de la calidad de agua a tratar (TOTAGUA Waste Waste Solutions, 2019).

Las ventajas más significativas son: la calidad de agua permeada permite el reúso en procesos industriales y no se ve alterada significativamente cuando se presentan picos de carga al ingreso, requieren de un área mínima, al ser diseñado en módulos permite aplicar ampliaciones fácilmente, bajo consumo energético con sistemas automatizados y el mantenimiento es mínimo (TOTAGUA Waste Waste Solutions, 2019).

b. Aplicaciones

El campo de aplicación va desde el tratamiento terciario de aguas residuales domésticas, urbanas e industriales hasta la potabilización de agua (con baja carga) (TOTAGUA Waste Waste Solutions, 2019).

En la industria farmacéutica se aplica para la purificación y separación de diferentes sustancias; en la industria textil se utiliza para recuperar sulfuros del baño de depilado separándolo de proteínas y otros coloides (Romero, 2010) y en la industria láctea se utiliza para concentrar proteínas del suero de la leche (CARBOTECNIA, 2019).

La tecnología de Ultrafiltración se aplica como tratamiento en aquellos sistemas que tienen como objetivo reducir la turbiedad, sólidos suspendidos, virus y bacterias por medios mecánicos. Es útil para el tratamiento del agua superficial, agua de pozo combinada con agua superficial, el tratamiento previo del agua de alimentación para osmosis inversa y tratamiento de agua residual e industrial (PENTAIR, 2014).

c. Consideraciones de diseño

Las membranas de ultrafiltración están diseñadas para remover turbiedad, sólidos

suspendidos, virus y bacterias, sin embargo, para asegurar su rendimiento, incrementar el tiempo de vida útil y reducir el ensuciamiento se requiere que el agua a ingresar a las membranas de Ultrafiltración (UF) cumpla con ciertos criterios de calidad. En la Tabla 10 se muestra la calidad de agua recomendada que debe ingresar a las membranas de ultrafiltración.

Tabla 10: Calidad de agua de alimentación para membrana de Ultrafiltración

Parámetros	Rango
Clase de agua fuente	agua subterránea, agua gris, agua de mar, agua tratada por PTAR
pH	1.0-10.0
SST	<100 ppm
Tamaño de partículas	<0.5 mm (0.02")
Aceite	<2 ppm
Dureza (Ca CO ₃)	<150 ppm

FUENTE: SALHER (2016)

Si el efluente a tratar no tiene la calidad indicada, se hace necesario implementar un tratamiento previo con sistema de filtración convencional, tipo Filtro multimedia o multicapas, Filtro de carbón activado u otros sistemas que se consideren. En la Tabla 11 se muestran la calidad de agua producto que se espera obtener luego del proceso de ultrafiltración.

Tabla 11: Expectativa de calidad de agua permeada de Ultrafiltración

Parámetros	Unidad	Valor
Turbiedad	NTU	< 0.2
Solidos totales en suspensión	mg/l	< 0.5
SDI	-	3

FUENTE: Jimenez (2017)

3.4.2. Osmosis Inversa

a. Descripción

La tecnología Osmosis Inversa es un proceso de difusión controlada que utiliza membranas semipermeables selectivas. Su proceso de tratamiento se basa en el rechazo de sales, solutos,

virus, bacterias, etc. (Universidad Nacional de Ingeniería-UNI, 2018). Se alimenta una solución concentrada sobre la cual se ejerce una presión externa a través de una bomba de alta presión, esta debe superar la presión osmótica para permitir que el flujo de agua de alimentación atraviese la membrana semipermeable; esta fuerza ejercida hace que el flujo inicial se separe en dos corrientes, el de agua producto o permeado y el de rechazo, en este último se concentra todos los contaminantes retenidos (Gutiérrez Ruiz, 2011).

Este sistema elimina en 99% las sales disueltas, virus y bacterias, normalmente utiliza como agua de alimentación el agua de pozo o de mar; esta tecnología se implementa cuando se requiere un agua muy pura o sea para bebida (Díaz Delgado, 2003).

b. Aplicaciones

Como tratamiento avanzado para obtener agua desalinizada, libre de virus y bacterias. Esta calidad normalmente es requerida como fuente para agua de reposición de sistemas de enfriamiento, agua de alimentación de sistemas de vapor, uso potable (de agua salobre o agua de mar) e industria farmacéutica.

La Planta nuclear de México utiliza un sistema de osmosis inversa (RO) de 50 galones por minuto (GPM), el cual tiene una eficiencia del 99% en remoción de sales, materia orgánica, iones y bacterias; el sistema de tratamiento cuenta con filtro de zeolita, filtro cartucho de sedimentos, 24 membranas de RO (distribuidas en dos etapas) con continua de inyección de antiincrustante, un sistema de desgasificación y un módulo de electrodesionización.

3.5. MARCO LEGAL AMBIENTAL

3.5.1. Decreto Supremo No 004-2017-MINAM

Normativa que establece los Estándares de Calidad Ambiental del Agua, deroga el D.S. N°002-2008-MINAM, D.S. No. 023-2009-MINAM y D.S. No. 015-2015-MINAM.

En lo que respecta a la Categoría 3, Subcategoría D1, el DS No. 004-2017-MINAM establece lo siguiente:

Agua para riesgo no restringido: Entiéndase como aquellas aguas cuya calidad permite su

utilización en el riego de cultivos alimenticios que se consumen crudos (Ejemplo: hortalizas, plantas frutales de tallo bajo o similares), cultivos de árboles o arbustos frutales con sistema de riego por aspersión (el fruto o partes comestibles entran en contacto directo con el agua de riego, aun cuando estos sean de tallo alto), parques públicos, campos deportivos, áreas verdes, plantas ornamentales y cualquier otro tipo de cultivo.

Se establecen parámetros fisicoquímico, inorgánico, microbiológico y parasitológico, siendo aplicable solo los dos últimos en el caso se utilice el agua para riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales. En la Tabla 12 se detallan los valores de los parámetros microbiológicos y parasitológicos.

Tabla 12: Parámetros de ECA-Agua Categoría 3- Agua para riego no restringido (c)

Tipo de Parámetro	Parámetros	Unidad de medida	D1- Riego de Vegetales - Agua para Riego no restringido (c)
MICROBIOLOGICO	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	1000
Y	<i>Escherichia coli</i>	NMP/100 ml	1000
PARASITOLOGICO	Huevos de Helmintos	Huevo/L	1

FUENTE : Anexo Ministerio del Ambiente-MINAM (2017)

Nota: (c) Para el riego de parques públicos, campos deportivos, áreas verdes y plantas ornamentales, solo aplican los parámetros microbiológicos y parasitológicos del tipo de riego no restringido.

3.5.2. Guía de la Organización Mundial de la Salud (OMS)

La Organización Mundial de Salud (OMS) estableció directrices para el uso seguro de aguas residuales y excretas en agricultura y acuicultura, en este se recomienda la concentración máxima de Coliformes fecales y huevos de helmintos que pueden tener las aguas residuales tratadas para reúso en la agricultura. La Tabla 13 muestra los valores recomendados por la OMS para el reúso de agua en la agricultura.

Tabla 13: Calidad de agua para reúso de agua residual tratada en la agricultura

Parámetros	Unidad de medida	Guía OMS (1989)
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100 ml	< 1000*
Huevos de Helmintos	Huevo/L	< 1**

FUENTE: Organización Mundial de la Salud-OMS (1989)

Nota:

(*) Para riego sin restricciones

(**) Para riego sin restricciones y restringido.

El riego sin restricciones se refiere al riego de árboles, forrajes, cultivos industriales, árboles frutales y pastos, y riego restringido a riego de cultivos comestibles, campos deportivos y parques públicos.

3.5.3. Resolución Jefatural No 224-2013-ANA

Establece el Reglamento de Otorgamiento de Autorizaciones de Vertimiento y Reúso de aguas residuales tratadas, según el artículo 1° se tiene como objeto “regular los aspectos y procedimientos administrativos a seguir para el otorgamiento de autorización, modificaciones y renovaciones de vertimiento de aguas residuales tratadas a cuerpos naturales de agua continental o marina, y de reúso de aguas residuales tratadas”. Esta norma deroga la Resolución Jefatural No. 218-2012-ANA, así como el artículo 2° de la Resolución Jefatural No. 684-2010-ANA.

De acuerdo con el artículo 9°, se definen los lineamientos que comprenden al vertimiento de efluentes del proceso de desalinización, donde se señala que todos los efluentes provenientes de este proceso tal es el caso de salmuera, el agua de filtro de arena, residuos de productos de limpieza de membranas y otros equipos, para su vertimiento deberán tener autorización por parte de la Autoridad Nacional del Agua (ANA) debiendo verificar el cumplimiento de los ECA-Agua para no afectar los ecosistemas marinos.

En el artículo 12°, inciso 12.1. se señala que el titular no requiere de un permiso de autorización de vertimiento de agua, siempre y cuando este lo reutilice para los mismos fines para el cual solicitó el permiso. Respecto a la calidad que debe cumplir las aguas residuales a reutilizar, en el artículo 14° se indica que se debe evaluar los valores considerando el sector en donde se reutilizará y en caso de no existir pueden recurrir a las guías de la Organización

Mundial de la Salud (OMS).

3.5.4. Decreto Supremo No. 013-2020-MIDAGRI

Aprueba los valores de retribuciones económicas a pagar por el uso de agua y por el vertimiento de aguas residuales tratadas a aplicarse el año 2021.

El artículo 6° establece el valor de la retribución económica por el uso de agua subterránea con fines agrarios y no agrarios. Los acuíferos de Chillón, Rímac y Lurín son considerados como acuíferos en equilibrio, estableciendo un valor de S/ 0.1583/m³ para Uso Industrial; la Tabla 14 muestra los valores establecidos para un Acuífero en Equilibrio.

Tabla 14: Valor de la retribución económica por el uso de agua subterránea con fines agrarios y no agrarios- Acuífero en equilibrio

Estado de acuífero	Nombre de acuífero	Uso				Otros usos**
		Agrario	Poblacional	Industrial*	Minero	
		S/ / m ³				
En equilibrio	Chicama, Fortaleza, Chillón, Rímac, Lurín, Culebras, Poyena, Chaman, Ático, Cháparra, Choruga, Huaytire-Gentiler, Pampa de Palo, Locumba, Cinto, Titijones, Viscachas, Yauca, Azufre, Nasca y Coata	0.0022	0.0203	0.1583	0.2035	0.0659

FUENTE: Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI (2020)

Nota:

*Aplicables por el uso de agua en centrales termoeléctricas.

**Aplicables para cualquier clase de derecho de uso de agua otorgado con la denominación de Otros usos. Y, para los demás usos de agua que no cuenten con valor en el presente dispositivo legal.

IV. MARCO METODOLÓGICO

4.1. ÁREA DE ESTUDIO

OPP FILM es una empresa que pertenece al sector manufacturero, tiene como actividad económica la fabricación de productos plásticos. Para el desarrollo de sus actividades cuenta con cinco Plantas Industriales, de las cuales cuatro (Planta 1, 2, 3 y 4) se ubican en el distrito de Lurín, provincia de Lima y una (Planta 5) en el distrito de Chilca, provincia de Cañete. El proyecto en estudio se desarrolló en la Planta Industrial 2 y 3, ubicada en la Av. San Pedro Parcela B-73 Urb. San Vicente, distrito de Lurín - Provincia de Lima.



Figura 4: Ubicación de la Planta 2 y 3 de OPP FILM

FUENTE: Elaboración propia, extraído de Google Earth

4.2. NATURALEZA DEL ESTUDIO

El estudio realizado es de tipo no experimental y no utiliza muestreo estadístico. Se describieron los procesos unitarios e identificaron los parámetros de calidad de agua a

analizar; se cuantificó el volumen de agua usado en la línea de proceso a través de un balance hídrico, todo ello para realizar el diagnóstico inicial; posterior a la implementación del tratamiento se realizó un balance hídrico y se caracterizó el agua final obtenida. Comparar la situación posterior al tratamiento respecto a la inicial, permitió evaluar la eficiencia en el reúso de agua.

4.3. ANÁLISIS DE LAS CONDICIONES INICIALES DE FLUJO Y CALIDAD DE AGUA DESDE LA FUENTE HASTA SU DISPOSICIÓN FINAL

El agua fuente utilizada en la Planta Industrial (PT2 y PT3) es extraída de un pozo tubular y tiene origen subterráneo, se estima que su calidad de agua satisface las características indicadas en la Tabla 7 (ver acápite 3.2.1.). El agua fuente, previo a su uso en los procesos de la PT 2 y PT3 debe pasar por sistema de tratamiento de agua fuente. Para realizar el balance hídrico y determinar el flujo de ingreso y salida de cada proceso se procedió de la siguiente manera:

- a. Se identificaron las tecnologías que se utilizan en la condición inicial para el tratamiento del agua fuente.
- b. Se evaluó el proceso de tratamiento e identificó el volumen de agua alimentada, producida para uso y residual generada por estas tecnologías.
- c. Se identificó como se distribuye el agua tratada en la cadena de procesos. En la Figura 5 se muestra un diagrama de la distribución inicial del agua y los puntos de muestreo en la Planta 2 y 3 (PT2 -PT3) de OPP Film.
- d. En cada proceso se calculó el volumen de agua de alimentación y de salida, en este último caso se consideraron las pérdidas por evaporación y efluente generado a disponer. Para el cálculo se consideró que todo el volumen de agua que se alimenta es el mismo que se genera como efluente y se tiene que disponer, excepto para los procesos de torre de enfriamiento y pileta, que presentan pérdidas por evaporación. En función del proceso en donde se genera se clasificó como efluente doméstico o industrial, dependiendo de esto se determinó su lugar de disposición.
- e. Finalmente se determinó el volumen de agua residual que se reutiliza y el que va para vertimiento con una EPS. Con el balance del agua fuente extraída y del agua residual se determinó el balance final del agua en la condición inicial en Planta 2 y 3.

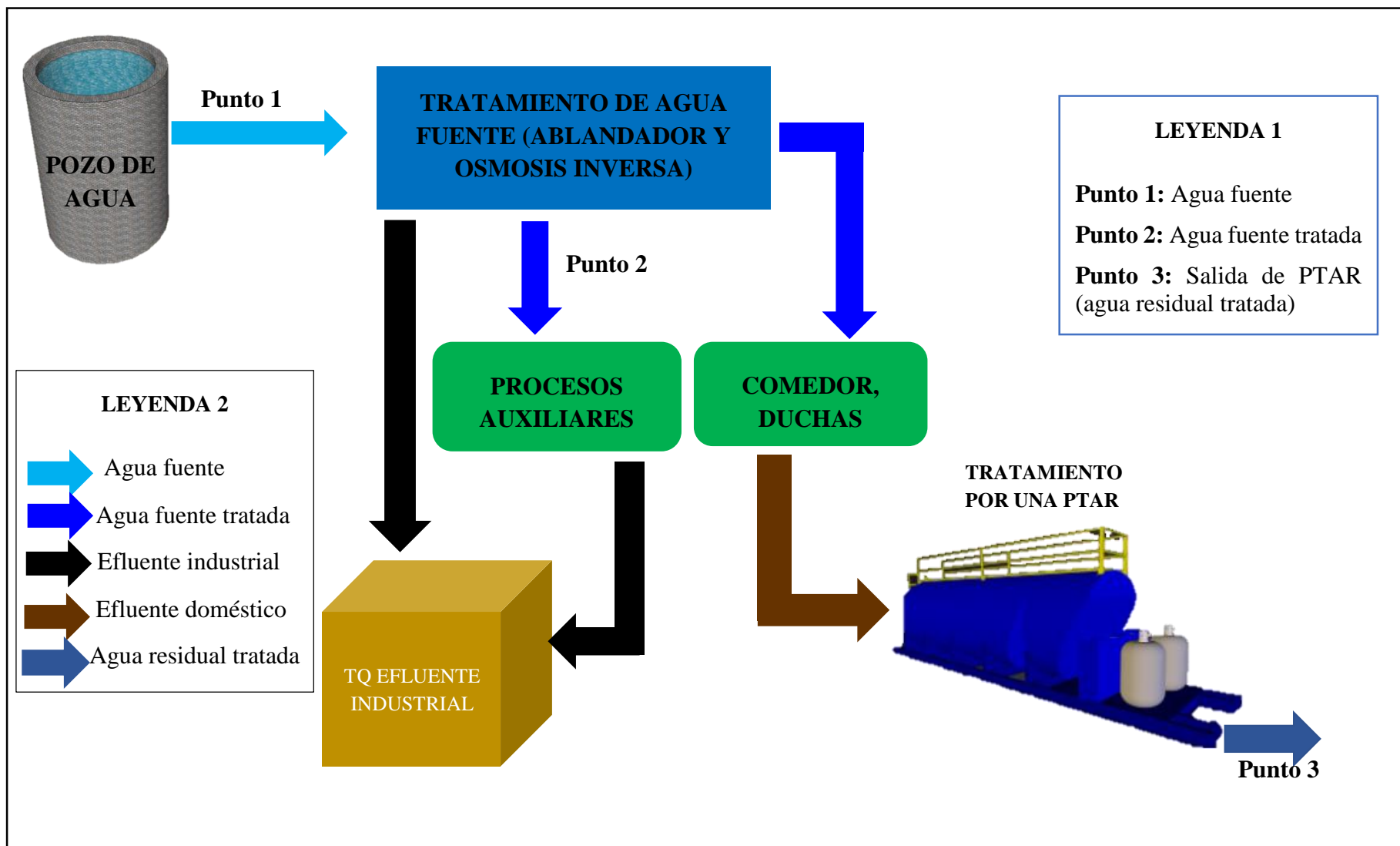


Figura 5: Diagrama de distribución inicial del agua en la Planta No2 y 3 de OPP FILM

FUENTE: Elaboración propia

Para caracterizar la calidad del agua en toda la cadena de proceso se realizó el análisis de los parámetros según punto de muestreo; en la Tabla 15 se muestran los puntos de muestreo y los parámetros de calidad correspondientes.

Tabla 15: Puntos de muestreo y parámetros de calidad en la condición inicial

Punto 1	Punto 2	Punto 3
Agua fuente	Agua fuente tratada	Salida de PTAR
pH	pH	pH
Cloruros	Cloruros	DBO5
Alcalinidad Total	Dureza Total	DQO
Dureza Total	Conductividad	Aceites y grasas
Conductividad		Sólidos suspendidos totales
Sólidos disueltos totales		Sulfatos
Sulfatos		Sodio
ICP		Calcio
Coliformes Totales		Magnesio

FUENTE: Elaboración propia

En el punto 1 se consideraron resultados realizados en dos fechas distintas, una realizada en 2018 y otra en 2021; todos los resultados del 2018 se obtuvieron de manera in situ con los equipos y reactivos de WET Chemical, excepto el ICP que se analizó con el Laboratorio NSF Inassa y el de coliformes totales, el cual no se determinó en este muestreo. Todos los resultados del 2021 se obtuvieron del análisis realizado por el Laboratorio NSF Inassa, excepto el pH, el cual se obtuvo in situ con los equipos y reactivos de WET Chemical. Los resultados del Punto 2 datan del 2019 al 2020, estos fueron analizados de manera in situ con los equipos y reactivos de WET Chemical y para el Punto 3, los resultados son del 2019 y todos fueron obtenidos del análisis realizado por el Laboratorio NSF Inassa.

4.4. EVALUACIÓN DE PROCESOS QUE OPTIMICEN EL REÚSO DE AGUA RESIDUAL

Con los resultados del balance de agua de Planta 2 y 3 se identificó el volumen de agua disponible para reutilizar y el que se dispone para vertimiento. Para determinar de qué manera se mejora la gestión del agua en toda la cadena de proceso, se procedió a realizar lo siguiente:

- a. Se evaluaron los procesos de tratamientos existentes para determinar si éstos satisfacen en cantidad y calidad para los usos que se requieren.
- b. Se compararon las tecnologías utilizadas en la condición inicial respecto a un nuevo sistema que cumpla con los requisitos del cliente, tanto en calidad como cantidad.
- c. Con la caracterización del agua residual tratada y el volumen de agua disponible se determinó en qué procesos se puede utilizar, y si se podría utilizar directamente o requería un tratamiento adicional para su reúso.
- d. Se establecieron los contaminantes a remover y en base a ello los parámetros de calidad para su control; esto permitió determinar el tipo de tecnología a utilizar, se validó con la experiencia y casos aplicados.

Una vez identificadas las tecnologías a utilizar, se validó su viabilidad considerando los siguientes parámetros:

- a. Área requerida
- b. Calidad y cantidad de agua obtenida posterior al tratamiento:
 - Para determinar su aptitud para el riego de áreas verdes se utilizó la Guía de la OMS
 - Para uso en procesos, se utilizó los parámetros requeridos para agua de reposición de torre de enfriamiento y el de agua para consumo humano.

Seleccionada la tecnología a implementar, se procedió a realizar el diseño del sistema de tratamiento. Para esto último, dependiendo del tipo de tecnología, el Jefe de Proyectos y los colaboradores realizaron el diseño tomando como base la Herramienta de proyección para módulo de membrana de fibra hueca PVDF "Serie HF" y el software TORAY DS2 para el sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa respectivamente y lo complementaron con sus experiencias.

La Herramienta de proyección para módulo de membrana de fibra hueca PVDF "Serie HF" y el software TORAY DS2, son herramientas creadas por la empresa TORAY INDUSTRIES INC con la finalidad de realizar corridas para obtener diseños de sistema de membranas; la primera se utilizó para realizar diseños de sistemas con membranas de ultrafiltración, ésta se encuentra en línea en la página web de la empresa, se ingresaron los parámetros de calidad de agua y el modelo de membrana a utilizar, como resultados se obtuvieron las condiciones

de operación, la duración, la capacidad y el diagrama de flujo.

El software TORAY DS2 se utilizó para diseñar el equipo de osmosis inversa (RO), para ello se alimentó el programa con los parámetros de calidad del agua fuente y el flujo de agua permeada que se requiere, todo ello da como resultado el diseño del sistema, en donde se indica el número de membranas, de portamembranas, de etapas y calidad de agua producto.

4.5. EVALUACIÓN DEL PERFORMANCE DE LOS SISTEMAS DE TRATAMIENTO IMPLEMENTADOS

Una vez implementadas las mejoras en la Planta Industrial, se procedió a realizar el monitoreo de agua al ingreso y salida de todo el sistema de tratamiento, se realizó la comparación con los parámetros de calidad requeridos. En la Tabla 16 se listan los parámetros, frecuencia, número de muestras, tipo de muestra y parámetros de control según punto de muestreo, todo ello para evaluar las tecnologías implementadas; en la Figura 6 se muestra un diagrama de la ubicación de los puntos de muestreo.

Tabla 16: Puntos de muestreo para evaluación de tecnologías implementadas

	Punto 4	Punto 5	Punto 6	Punto 7
Puntos de muestreo	Ingreso al Sistema UF	Agua permeada del Sistema UF	Agua de alimentación del EQ RO	Agua permeada del EQ RO
	pH	pH	pH (*)	pH (*)
	DBO5	DBO5	Conductividad (*)	Conductividad (*)
	DQO	DQO	Sólidos disueltos totales	Sólidos disueltos totales
	Aceites y grasas	Aceites y grasas	Dureza total (*)	Dureza total (*)
Parámetros	Sólidos suspendidos totales	Conductividad	Cloruros (*)	Cloruros (*)
		Cloruros	Alcalinidad total	Alcalinidad total
	Nitrógeno amoniacal	Sulfatos	Sulfatos	Sulfatos
		ICP	ICP	Hierro Total
	Sulfatos	Coliformes Termotolerantes	Coliformes Totales	Coliformes Totales

«continuación»

	ICP	<i>Escherichia Coli</i>		Flujo de agua
		Huevos de Helminto		
Frecuencia de monitoreo	una (01) vez, previo al diseño	una (01) vez, en la puesta en marcha	una (01) vez en la puesta en marcha, una vez (01) a la semana los parámetros de (*) durante la operación	una (01) vez en la puesta en marcha todos los parámetros, una vez (01) a la semana los parámetros de (*) durante la operación
# de muestra	una (01)	una (01)	una (01)	una (01)
Tipo de muestra	Puntual	Puntual	Puntual	Puntual
Parámetros de control	Requisitos mínimos para ingresar a UF (Tabla 10, ver acápite 3.4.1).	Valores guía de la OMS (Tabla 13, ver acápite 3.5)	-	Requisitos mínimos para agua de reposición de torre de enfriamiento (Tabla 8, ver acápite 3.21) y agua para consumo humano

FUENTE: Elaboración propia

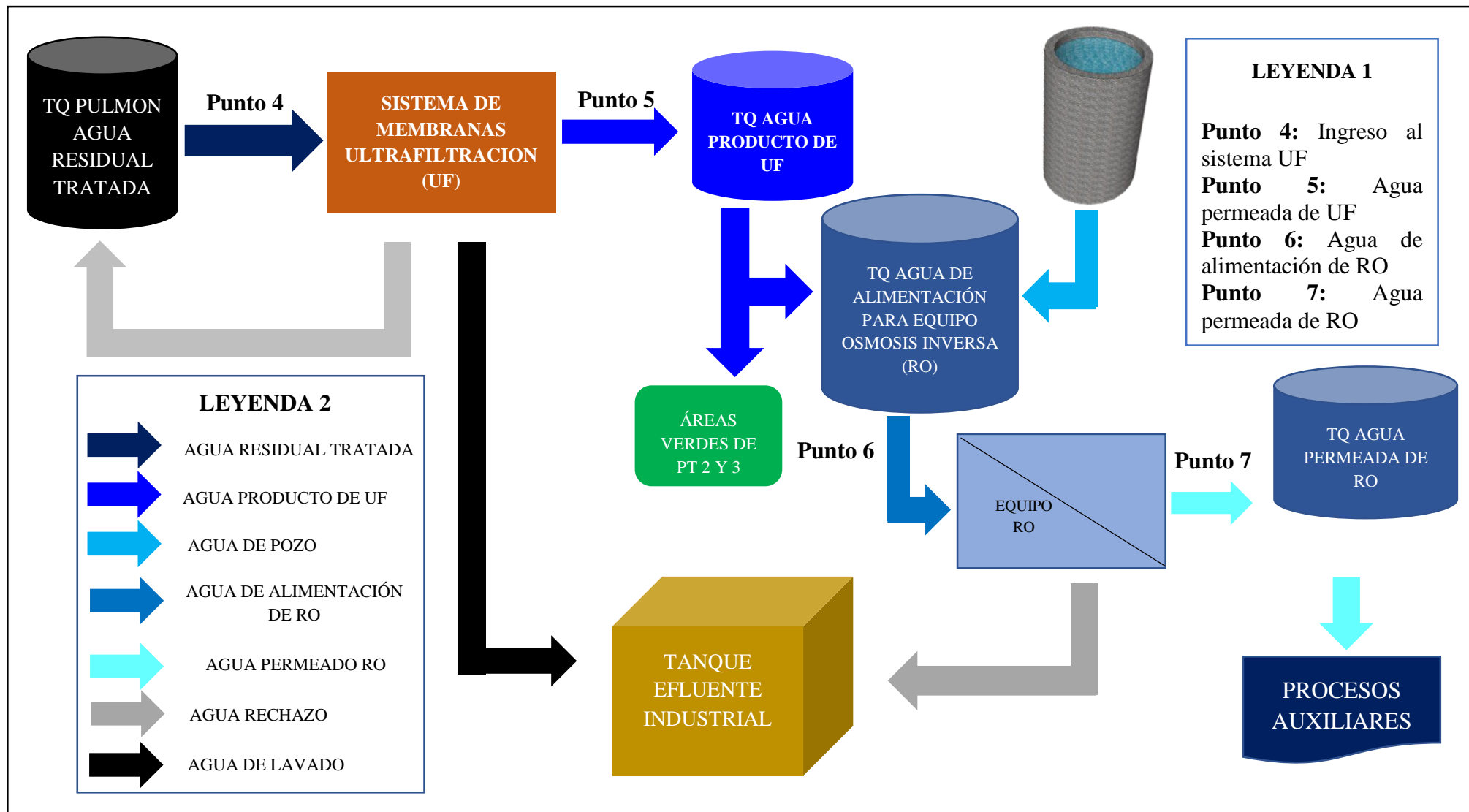


Figura 6: Diagrama de flujo del tratamiento al agua residual tratada una vez implementado el Proyecto

FUENTE: Elaboración propia

V. RESULTADOS Y ANÁLISIS

5.1. CONTEXTO LABORAL

WET Chemical Perú S.A., es una empresa identificada con R.U.C 20512369716 con domicilio fiscal en Pje. Musga Lot. 10-A Z.I. Ex Fundo Chacra Cerro-Comas; inicia sus actividades en el año 2006 teniendo como enfoque de negocio brindar soluciones integrales en el uso y reúso del agua en los procesos industriales de empresa del sector industrial, productivo y minero. Tiene como líneas de negocio las siguientes: producción de productos químicos para tratamiento de agua (para sistemas de vapor, de enfriamiento, sistemas de membranas y PTAR), realización de servicios de mantenimiento preventivo y correctivo, monitoreo de calidad de agua en sistemas de tratamiento de agua y fabricación e implementación de sistemas de tratamiento de agua fuente y residual (sistema de filtración, de Ultrafiltración, osmosis inversa y PTAR).

El equipo de trabajo de WET Chemical está compuesto por profesionales que siempre están en búsqueda de la mejora continua y con alto poder de análisis que permite presentar propuestas que brindan soluciones a los desafíos o problemas que se presentan en cada Cliente. Tiene como misión mejorar el desempeño ambiental y económico de nuestros clientes, haciendo más eficiente la gestión del agua dentro de sus procesos industriales a través de la implementación de tecnologías, suministro de productos químicos u otros y ejecución de servicios” (WET Chemical, 2017).

WET Chemical tiene como visión la mejora continua en todos sus procesos que garanticen el éxito los programas de tratamiento químico, proyectos y servicios desarrollado en los clientes, se busca satisfacer las expectativas de nuestros socios estratégicos tales como clientes, accionistas, trabajadores y proveedores (WET Chemical, 2017).

En la Figura 7 se muestra el organigrama actual de la empresa WET Chemical.

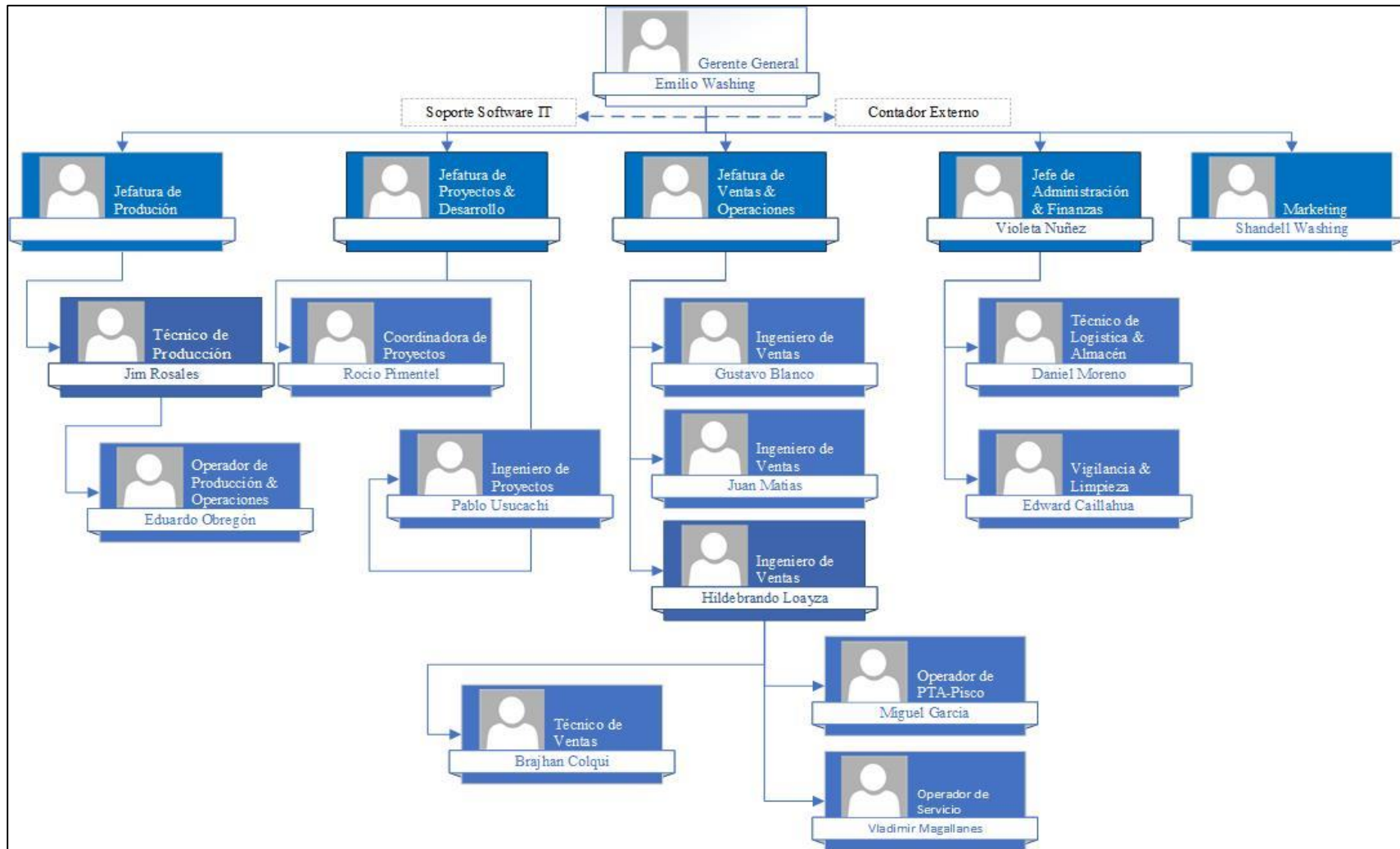


Figura 7: Organigrama actual de WET Chemical Perú

FUENTE: WET Chemical Perú (2021)

5.1.1. Funciones desempeñadas

Cargo: Coordinadora de proyectos

Área: Proyectos & Desarrollo para Optimización de Uso de Agua y Energía en la Industria

El ser Coordinadora de proyectos permite planificar, diseñar y evaluar los procesos para el tratamiento, reúso y/o eliminación segura de efluentes, complementario a ello sé es competente para analizar y evaluar los impactos en el ambiente que éstos pudieran generar; el trabajar con profesionales de diferentes disciplinas ha permitido tener la capacidad de cultivar una actitud positiva y receptiva, en donde la opinión de cada uno de ellos es considerada para el logro de los objetivos del proyecto. Todas las competencias y habilidades descritas han sido adquiridas en el proceso de formación profesional, las cuales se han ido desarrollando y fortaleciendo durante el ejercicio de la profesión; todo ello ha permitido desempeñar las siguientes funciones:

- Evaluar los procesos industriales de empresas del sector Industrial u otros, las cuales tienen necesidad de mejorar en el uso del recurso agua; se tiene como objetivo determinar en qué parte de la cadena de proceso se logra un mejor aprovechamiento y mediante que alternativas se logra ello.
- Determinar los parámetros a analizar en una muestra de agua, para caracterizarla; se toma como información base la normativa legal aplicable y requisitos internos del cliente para los posibles usos que se puedan dar.
- Proporcionar el marco referencial técnico-legal en materia ambiental para el diseño de sistemas de tratamiento de agua fuente y/o residuales mediante implementación de tecnologías de ultrafiltración, osmosis inversa, MBBR, u otra que satisface la necesidad del proyecto.
- Procesar y validar la información técnica, recomendaciones y funcionamiento del equipo para el Dossier de calidad de los equipos y/o sistemas implementados.
- Evaluar el performance del sistema de tratamiento implementado; se consideran como indicadores los parámetros y demás variables aseguradas como resultados en la propuesta al cliente.

5.2. DETERMINACIÓN Y ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

El ser receptivo a las necesidades del cliente y competente para planificar, analizar y evaluar los procesos como un conjunto, son capacidades adquiridas en el proceso formativo, que se

complementan para determinar cuál es el o los procesos óptimos que mejoren el uso del agua fuente y/o residual; se considera desde la implementación de tratamiento químico hasta el suministro y montaje de nuevas tecnologías.

Con la implementación de mejoras, los clientes han mostrado resultados favorables de ahorro de agua, sin comprometer la calidad exigida para sus procesos. El tener resultados positivos en disponibilidad de agua tanto en cantidad como calidad, da la seguridad que sus procesos son eficientes en corto y largo plazo.

La empresa OPP Film identificó que el agua residual tratada no cumplía con los parámetros requeridos para uso en riego de áreas verdes, por lo que su demanda en ocasiones era cubierta por el agua fuente y que más del 50% no se reaprovechaba, teniéndose que disponer como un residuo con una EPS; de lo explicado se estableció la necesidad de reducir el volumen de agua fuente extraída y el de vertimiento, para tal fin solicitó una propuesta que permita mejorar la calidad de agua residual tratada y así reutilizarla en el riego de áreas verdes y otros procesos.

5.3. PROYECTO DE SOLUCIÓN

El identificar una necesidad de mejora en un cliente, proponer e implementar una solución considerando el marco legal, requisitos internos u otras variables que satisface sus requerimientos permite crear oportunidades de crecimiento para WET Chemical. Se incrementa la experiencia en la mejora de procesos industriales mediante implementación de tecnologías avanzadas, siendo marco referente para nuevos proyectos en el mismo o nuevos clientes; evaluar el performance de tratamientos implementados permite determinar en qué porcentaje se cumple con los resultados proyectados, del mismo modo se recopilan datos reales para mejorar el diseño e implementación de nuevos proyectos.

La empresa OPP Film, con la implementación del proyecto de reúso de aguas residuales, reduce el volumen de extracción del agua fuente y el volumen de agua para vertimiento. Posterior a la ejecución se realiza el monitoreo para verificar el funcionamiento del sistema implementado, se establecen los siguientes indicadores: volumen de agua fuente extraída posterior al tratamiento respecto al volumen de agua fuente en la condición inicial y el

volumen de agua para vertimiento posterior al tratamiento respecto al volumen de agua para vertimiento en la condición inicial. También se verificó el cumplimiento de los estándares de calidad para el uso en la cadena de procesos.

Los recursos que se utilizaron para la obtención de resultados son:

- Aplicación del Software TORAY DS2 por el jefe de proyecto para el diseño del equipo de osmosis inversa (RO)
- Herramienta de proyección para módulo de membrana de fibra hueca PVDF "Serie HF" para el diseño del sistema de Ultrafiltración.
- Muestreo por personal de WET Chemical y análisis realizado por el laboratorio NSF INASSA.
- Equipos (pH metro y conductímetro) y reactivos (determinación de dureza total y cloruros) de WET Chemical para el análisis in situ en los monitoreos semanales en el seguimiento del performance del equipo de osmosis inversa.

5.4. EVALUACIÓN DEL PROYECTO

5.4.1. Condiciones iniciales de flujo y calidad de agua desde la fuente hasta su disposición final

Se realizó el levantamiento de información con el área de mantenimiento del cliente, el cual permitió identificar y establecer la distribución del agua fuente desde su extracción hasta su disposición, para ello se determinó el volumen de agua de ingreso y salida en cada proceso. El agua fuente proviene de un pozo tubular ubicado dentro del predio de la Planta 2 y 3 (PT2 y PT3), del cual se extrae en promedio 455.8 m³ por día; por su origen subterráneo, el agua fuente antes de ser utilizado en los procesos auxiliares y productivos requiere de un tratamiento.

a. Distribución del agua fuente

El sistema de tratamiento del agua fuente lo constituyen un equipo de osmosis inversa y un sistema de ablandadores, ubicado en la PT2 y PT3, respectivamente; ambos sistemas trabajan en paralelo. En la Tabla 17 se muestran las tecnologías utilizadas para el tratamiento del agua fuente, se describe el principio de su funcionamiento.

Tabla 17: Tecnologías utilizadas en el tratamiento del agua fuente en Planta 2 y 3 de OPP Film en la condición inicial

Tecnología	Equipo de Osmosis Inversa PT2	Ablandador Twin PT3
Principio de funcionamiento	<i>Tecnología de membranas</i>	<i>Intercambio iónico</i>
	<p>Tiene como objetivo rechazar sales, solutos, virus y bacterias y obtener un agua permeada libre de sales y/o sustancias. Se utiliza una membrana semipermeable selectiva, a la cual se ejerce una presión que supere la presión osmótica, esto se logra mediante una bomba de alta presión; en promedio la presión aplicada va desde 60 hasta 200 psi. El agua de alimentación ingresa a la membrana y se tiene dos líneas de flujo de salida, el flujo de agua permeada y el de rechazo; en esta última se concentran las sales y/o componentes del agua de alimentación rechazados. El agua permeada, por su óptima calidad es apta para uso en procesos industriales, sistemas de potabilización, etc.</p>	<p>Tiene como función la remoción de calcio y magnesio, componentes principales de la dureza del agua; el proceso de ablandamiento tiene como mecanismo el intercambio del ion sodio por el de calcio y magnesio. Estos dos últimos iones son retenidos de manera selectiva en la media filtrante (resina catiónica) y son intercambiados por el sodio, el cual es liberado. De esta manera en el agua producto se reduce la concentración de dureza total. La resina catiónica cuando se satura de iones calcio y magnesio, requiere una renovación de iones sodio, este proceso se logra mediante el proceso de regeneración, en el cual la resina se vuelve a saturar con iones sodio y liberar el de calcio y magnesio.</p>

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 18 se muestran los resultados del balance hídrico y distribución del agua fuente en la condición inicial, considerando como procesos, el sistema de tratamiento de agua fuente y el de uso directo; para su determinación se establece el volumen por día de agua de alimentación, el disponible para uso y el de disposición. En el Anexo 1 se muestra la información de la Tabla 18 en un diagrama de flujo.

Se identifica que el volumen de agua que ingresa al sistema de tratamiento de agua compuesto por el equipo de osmosis inversa PT2 y el sistema de ablandadores Twin PT3 suman un total de 415.8 m³/día y para uso directo 40 m³/día, esto representa un 91.22% y

8.78%, respectivamente, del volumen de agua fuente extraído.

El sistema de tratamiento de agua oferta un volumen de 309.9 m³ de agua por día para uso disponible en planta para los procesos auxiliares y productivos, este volumen representa el 74.53% del agua de alimentación al sistema de tratamiento. Del tratamiento con el equipo de osmosis inversa de PT2 se obtiene como agua permeada 112 m³ y del sistema de ablandadores de PT3, 197.9 m³ como agua blanda. El efluente generado como parte del tratamiento del agua fuente, lo componen el agua de rechazo del equipo de osmosis inversa PT2 y el agua de regeneración del sistema de ablandadores PT3, sumando un total de 105.9 m³ por día, que por su origen se consideran como efluentes industriales, y después de su almacenamiento son dispuestos con una Empresa Prestadora de Servicios (EPS).

De lo descrito líneas arriba se infiere que el equipo de osmosis inversa PT2 y el sistema de ablandadores PT3 recuperan como agua apta para uso en procesos solo el 60% y 86% respectivamente del agua de alimentación; esto conlleva a evaluar si la calidad de agua ofrecida satisface las necesidades de los procesos auxiliares y productivos para determinar si se requiere una mejora en las tecnologías existentes o se requiere del reemplazo de una de ellas.

Tabla 18: Balance y distribución del agua fuente (pozo) en Planta 2 y 3 en la condición inicial

Item	Proceso	Uso	Característica	Agua de alimentación (m3/día)	Agua apta para uso en procesos (m3/día)	Agua a disponer (m3/día)	Tipo de agua a disponer	Lugar de disposición
1	Tratamiento de agua fuente	Equipo de Osmosis Inversa PT2	Qpermeado: 7m3/hr Recovery: 60% Cantidad: 1 und Horas de trabajo: 16 hr/día	186.7	112	74.7	Efluente industrial	TQ Efluente industrial - EPS
		Ablandador Twin PT3	Dimensiones del TQ: 30" x 72" Capacidad: 15 pies3 Cantidad de TQ: 4 und (2 twins) Proceso de Regeneración: Cantidad Sal: 2204.62 lb/día Twin 1 # veces regeneración/día: 2 Twin 2 # veces regeneración/día: 3 Cantidad agua para salmuera: 1 m3	229.1	197.9	0	Efluente industrial	TQ Efluente industrial - EPS
2	Uso Directo	Baños de PT2 y PT3	Número (#) de personas: 800 Dotación: 100 l/día*persona % que representa: 50% de la dotación	40	0	40	Efluente doméstico	PTAR
TOTAL (m3/día)				455.8	309.9	145.9		

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: (*) agua utilizada para el proceso de regeneración que luego de su uso, se dispone como efluente industrial

b. Distribución del agua tratada obtenida del Sistema de tratamiento de agua fuente

En la Tabla 19, se muestran los resultados del balance y distribución del agua tratada para uso en procesos en Planta 2 y 3 en la condición inicial; el agua para el abastecimiento de los procesos proviene del agua permeada y agua blanda obtenida del equipo de osmosis inversa PT2 y sistema de ablandadores PT3, respectivamente. El Anexo 2 y 3 muestran mediante diagramas de flujo el balance y distribución del agua permeada de PT2 y agua blanda de PT3 respectivamente, la información presentada en los diagramas corresponde a la Tabla 19.

Se dispone de 112 m³/día de agua permeada en PT2, los cuales se distribuyen para uso en agua de reposición de tres torres de enfriamiento (Torre 1, 2 y 3), chiller, cocina, comedor y pileta ubicada en la entrada principal de la Planta 2 y 3. Del balance de agua se observa que 48.04% se pierde por evaporación, 14.28% se dispone como efluente doméstico para tratamiento por la PTAR y 37.68% se dispone como efluente industrial, que posterior a su almacenamiento se gestiona con una EPS; el efluente industrial lo constituyen la purga de las torres de enfriamiento, chiller y pileta.

El sistema de ablandadores oferta 197.9 m³/día de agua blanda en PT3, distribuyéndose para agua de reposición de cuatro torres de enfriamiento (Torre 3I, 3D, 4I y 4D), agua de alimentación para el equipo de osmosis inversa de PT3, duchas y proceso productivo de masterbatch y erema; el agua permeada del equipo de osmosis inversa de PT3 se utiliza para el lavado de películas. Del balance de agua se observa que 32.34% se pierde por evaporación, 12.13% se dispone como efluente doméstico para tratamiento por la PTAR y 55.53% se dispone como efluente industrial, que posterior a su almacenamiento se gestiona con una EPS; el efluente industrial lo constituyen la purga de las torres de enfriamiento, el rechazo del equipo de osmosis inversa y el agua del proceso de masterbatch, erema y lavado de películas.

De los datos mostrados en la Tabla 19, se observa que, utilizando agua permeada como agua de reposición de las torres de enfriamiento, en promedio cada torre requiere 16.7 m³/día y se dispone como purga el 33.4% del volumen alimentado, sin embargo, utilizando agua blanda se requiere 32 m³/día por cada torre y se pierde como purga el 50% del volumen alimentado; cabe indicar el agua por purga representa el 60.27% del agua total a disponer.

Por consiguiente, se determina que, al utilizar agua blanda, como fuente de reposición para las torres de enfriamiento, la demanda de agua de reposición y pérdida por purga es mayor en comparación al utilizar agua permeada.

Tabla 19: Balance y distribución del agua tratada para uso en procesos en Planta 2 y 3 en la condición inicial

Item	Tipo de Agua	Proceso	Agua total de alimentación (m3/día)	Agua de alimentación (m3/día)	Pérdida de agua por evaporación (m3/día)	Agua a disponer (m3/día)	Tipo de agua a disponer	Lugar de disposición
1	Agua Permeada del Equipo de Osmosis Inversa PT2	Reposición de Torre de Enfriamiento PT2 <i># Torres: 03 und</i>	112	50	33.3	16.7	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
		Chiller		5	0	5	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
		Cocina y Comedor <i># personas: 800</i> <i>Dotación: 100 l/día*persona</i> <i>% que representa: 20% de la dotación</i>		16	0	16	Efluente Doméstico	PTAR
		Pileta de entrada principal		41	20.5	20.5	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
		Subtotal (m3/día)		112	112	53.8	58.2	
2	Agua Blanda del Sistema de Ablandador Twin PT3	Reposición de Torre de Enfriamiento PT3 <i># Torres: 04 und</i>	197.9	128	64	64	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
		Equipo de osmosis inversa (RO) PT3		24	0	12	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
					0	12(*)	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS

«continuación»

Duchas # personas: 800 Dotación: 100 l/día*persona % que representa: 30% de la dotación	24	0	24	Efluente doméstico	PTAR
Masterbatch	8.4	0	8.4	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
Erema	13.5	0	13.5	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
Subtotal (m3/día)	197.9	197.9	64	133.9	
Total (m3/día)	309.9	309.9	117.8	192.1	

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: (*) agua permeada que se obtiene del Equipo de Osmosis PT3 para ser usado en lavado de películas, que luego de ser usado en este proceso se convierte en efluente industrial.

c. Distribución del agua residual y Balance final del agua en Planta 2 y 3

En la Tabla 20 se muestra la distribución del efluente generado en Planta 2 y 3, se identifica que el efluente doméstico ingresa a la PTAR para su tratamiento, de ésta se obtiene como efluente un agua residual tratada, del cual solo se reutiliza el 15% y el 75% se dispone con una EPS, conjuntamente con todo el efluente industrial generado.

Tabla 20: Balance y distribución del agua residual en Planta 2 y 3 en la condición inicial

Tipo de agua residual generado	Tipo de tratamiento	Tipo de agua residual final	Total, Agua residual (m3/día)	Agua residual para disponer (m3/día)	Tipo de disposición	Lugar de disposición
Efluente industrial	Sin tratamiento	Efluente industrial	258	258	Vertimiento	TQ Efluente Industrial - EPS
Efluente doméstico	PTAR	Agua residual tratada	80	68	Vertimiento	EPS
				12	Reúso	Riego de áreas verdes

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla 21 presenta el balance de agua final de Planta 2 y 3 en la condición inicial, se identifica que se extrae 455.8 m³ por día del agua fuente (pozo tubular), que posterior a su uso, según lo descrito en las Tablas 19 y 20, se dispone para vertimiento el 71.5%, el 25.8% se pierde por evaporación y solo el 2.6% se reutiliza en el riego de áreas verdes. Del agua para vertimiento, el 20.85% corresponde al agua residual tratada que queda sin reaprovechamiento, este porcentaje representa una oferta de agua, la cual requiere la evaluación de su calidad para determinar de qué manera se puede reutilizar en los procesos de planta y así evitar desaprovecharlo. La Figura 8 representa de manera gráfica lo indicado en la Tabla 21.

Tabla 21: Balance de agua final de Planta 2 y 3 en la condición inicial

Ingreso		Salida	
Agua fuente extraída (m3/día)	Agua para vertimiento (m3/día)	Pérdida de agua por evaporación (m3/día)	Agua para reúso de riego de áreas verdes (m3/día)
455.8	326	117.8	12
100%	71.5%	25.8%	2.6%

FUENTE: Elaboración propia

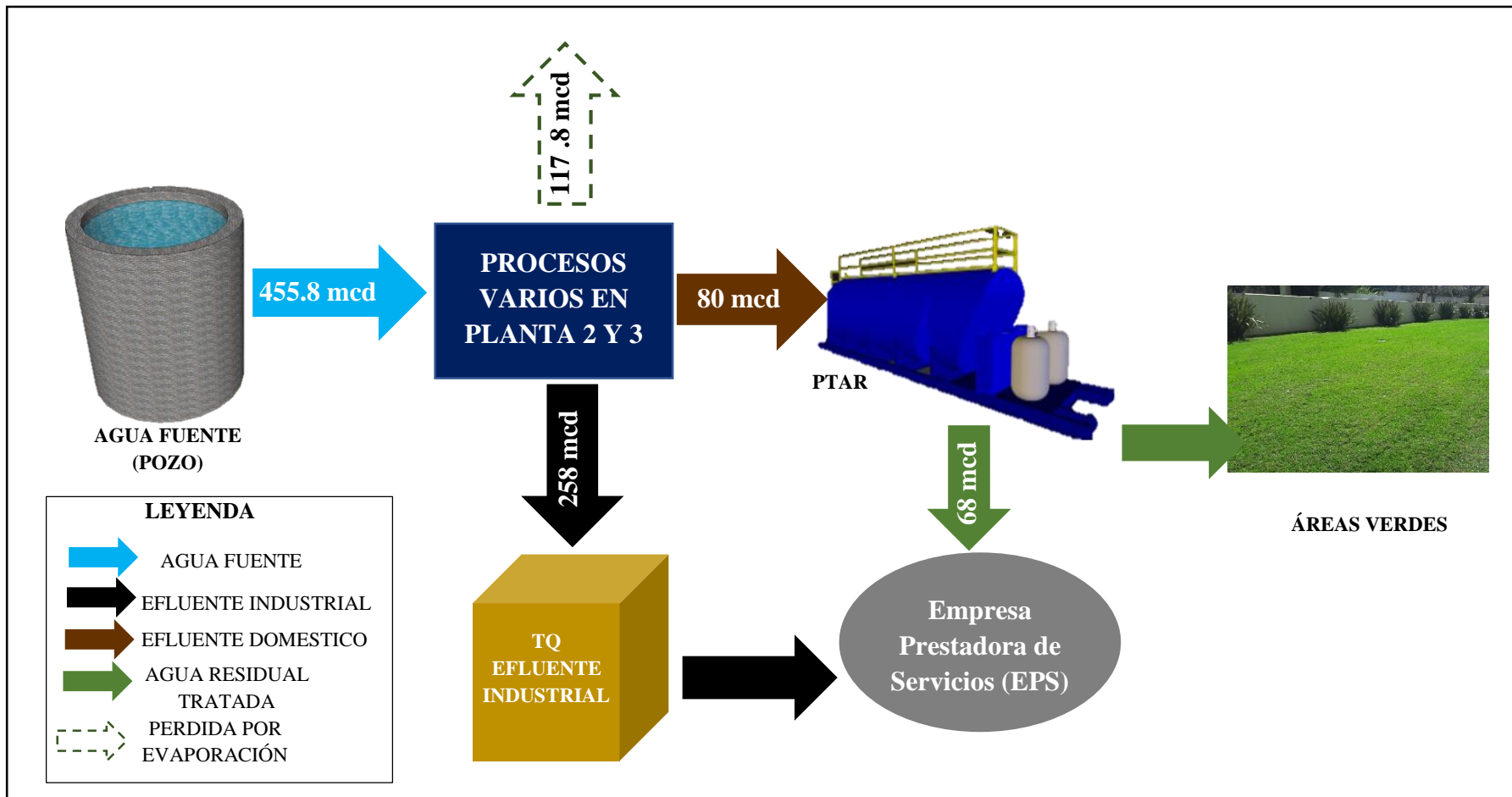


Figura 8: Balance final de agua de Planta 2 y 3 en la condición inicial

FUENTE: Elaboración propia

d. Caracterización de la calidad del agua fuente, agua tratada y agua residual tratada (Salida de la PTAR) en la condición inicial

Se realizó la caracterización del agua fuente, agua tratada (obtenidos del sistema de tratamiento de agua) y agua residual tratada (salida de la PTAR), estos corresponden a los puntos 1, 2 y 3 cuya ubicación se identificó en la Figura 5.

El agua fuente (Punto 1) se extrae de un pozo tubular y es de origen subterráneo, para su caracterización se consideraron valores muestreados en setiembre del 2018 y marzo del 2021. Como se visualiza en la Tabla 22, los resultados no presentan mayor variación de un año a otro, solo se aprecia un incremento en la conductividad y dureza total a razón de 347 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y de 304 mg CaCO_3/L , respectivamente en el año 2021 respecto al año 2018. Los resultados referidos a los parámetros de pH, conductividad, sólidos disueltos totales, cloruros, sulfatos, magnesio y boro se encuentran dentro del rango, respecto a los valores establecidos en la Tabla 7, la cual hace referencia a la calidad de agua subterránea en la Zona 1 del acuífero de Lurín (el distrito de Lurín está clasificado dentro de esta zona).

La Planta 2 y 3 se ubica en la parte baja de la Zona 1 del acuífero de Lurín colindante al litoral y por los valores mostrados de conductividad se estima que, si se mantiene el mismo ritmo de explotación del agua subterránea o se incrementa, en un futuro cercano, el agua fuente presentará problemas de intrusión salina, ocasionando que los valores conductividad se incrementen; en esas circunstancias, más adelante se haría necesario un tratamiento adicional al agua fuente para obtener la calidad de agua requerida para los procesos. Respecto al valor de dureza, el agua fuente es muy dura, ya que supera los 180 mg CaCO_3/L que establece la Organización Mundial de la Salud (OMS); utilizar el agua con esta concentración de dureza puede provocar que los sistemas de distribución, equipos y tuberías presenten problemas de incrustación.

Tabla 22: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 1-Agua fuente

Parámetro	unidad	7/09/2018	5/03/2021
pH	-	7.16	6.98
Cloruros	mg/L	631.9	641.48
Alcalinidad Total	mg/L	225	232
Dureza Total	mgCaO3/L	956	1260
Conductividad	µS/cm	2870	3217
Sólidos disueltos totales	mg/L	-	2400
Sulfatos	mg/L	500	543.52
Coliformes Totales	NMP/100 mL	-	<1.8
ICP			
Aluminio Total	mg/L	<0.005	<0.003
Antimonio Total	mg/L	<0.006	<0.00013
Arsénico Total	mg/L	<0.007	0.0017
Bario Total	mg/L	0.052	0.053
Berilio Total	mg/L	<0.0005	<0.00006
Bismuto Total	mg/L	<0.01	<0.0003
Boro Total	mg/L	0.524	0.722
Cadmio Total	mg/L	<0.001	<0.00003
Calcio Total	mg/L	389.6	364.918
Cobalto Total	mg/L	<0.001	<0.0003
Cromo Total	mg/L	<0.001	<0.0003
Cobre Total	mg/L	<0.002	<0.00009
Estroncio Total	mg/L	1.557	1.8235
Estaño Total	mg/L	<0.003	<0.00010
Hierro Total	mg/L	0.027	0.018
Fosforo Total	mg/L	0.02	0.054
Litio Total	mg/L	0.034	0.0719
Magnesio Total	mg/L	49.84	77.052
Manganeso Total	mg/L	0.006	0.0188
Molibdeno Total	mg/L	0.002	0.0035
Níquel Total	mg/L	<0.002	<0.0006
Plata Total	mg/L	<0.002	<0.000010
Plomo Total	mg/L	<0.001	<0.0006
Potasio Total	mg/L	4.99	<5.19
Selenio Total	mg/L	<0.006	<0.0013
Silicio Total	mg/L	14.05	18.09
Sodio Total	mg/L	239.2	316.532
Talio Total	mg/L	<0.007	<0.00006
Titanio Total	mg/L	<0.001	<0.00006
Vanadio Total	mg/L	<0.001	0.0043
Zinc Total	mg/L	0.008	0.0027

FUENTE: Elaboración propia

El agua fuente, por su calidad per sé no se puede utilizar directamente para los procesos auxiliares o productivos, es por ello que requiere tratamiento. El sistema de tratamiento de agua fuente está constituido por un equipo de osmosis inversa y sistema de ablandadores, del cual se obtiene agua permeada y blanda, respectivamente.

La Tabla 23 muestra la caracterización de la calidad del agua tratada (Punto 2), tanto para el agua permeada como para el agua blanda; los resultados analizados datan del 2019 hasta fines del 2020.

Tabla 23: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 2-Agua tratada en la condición inicial

Parámetros		pH	Cloruros	Dureza Total	Conductividad
		-	mg/L	mgCaO3/L	µS/cm
Agua permeada del EQ RO PT2	6/09/2019	6.75	21.3	10	96
	25/10/2019	6.73	21.3	10	98.8
	4/03/2020	6.35	71	44	320
	27/03/2020	5.9	18.5	3	36.6
	18/06/2020	6.02	14.8	2	116.1
	29/10/2020	5.76	21.3	6	56
	10/12/2020	5.72	21.3	1	67
Agua blanda de Ablandadores PT3	6/09/2019	7.49	639	10	3690
	25/10/2019	7.34	667.4	68	3420
	11/03/2020	7.13	639	96	4030
	18/06/2020	7.55	710	82	4460
	22/10/2020	7.15	852	810	3576
	12/11/2020	7.13	852	590	3758

FUENTE: Elaboración propia, recopilación de Reporte técnico de visitas técnicas de WET Chemical

Los ablandadores, tienen como función principal remover la dureza total del agua fuente hasta valores de cero, sin embargo no se está cumpliendo con el objetivo, ya que el agua blanda presenta valores de dureza superiores a 10 mg CaCO₃/L, que superan los valores en el agua permeada; el agua permeada presenta valores de remoción en más del 95% de la conductividad respecto al agua fuente, mientras que el agua blanda presenta altas concentraciones que incluso superan el del agua fuente (ver Tabla 22), esto se debe al

principio de ablandamiento en el cual los iones de calcio y magnesio son retenidos en la resina catiónica e intercambiados por el ion sodio, este se libera en el agua producto e incrementa la conductividad.

En julio del 2020, los ablandadores entraron en observación y mantenimiento, luego de realizado el mantenimiento se pusieron en funcionamiento y se obtuvieron valores de dureza superiores a 500 mg/L (en octubre y noviembre), lo que evidencia que el ablandador solo estaba removiendo en promedio el 50% de la dureza inicial. Esta situación provocó que las torres de enfriamiento de PT3 incrementarán su frecuencia de purga para evitar la formación de incrustación, trayendo como efecto inmediato el incremento en el volumen de agua consumida para reposición.

La torre de enfriamiento por su funcionamiento pierde agua por evaporación y por purga, la misma que se realiza cuando el agua circundante de la tina supera los estándares establecidos (ver Tabla 9); el agua que repone estas pérdidas se conoce como agua de reposición o make up, la calidad que esta presenta es de suma importancia, ya que determina la cantidad de veces que el agua puede ciclar antes de ser purgada. Los ciclos de concentración son la razón entre la calidad de agua de la tina respecto a la calidad del agua de reposición, para su cálculo se tienen en cuenta los parámetros de conductividad, dureza total y cloruros. A mejor calidad del agua de reposición, mayores ciclos de concentración y menor frecuencia de purga, por consiguiente, el volumen de agua de reposición se reduce.

El agua permeada y agua blanda se utilizan como agua de reposición de las torres de enfriamiento y para evaluar su aptitud se comparan con los parámetros y valores determinados en la Tabla 8, en esta se indica que los valores de dureza y conductividad deben ser menores a 149.52 mg CaCO₃/L y 1500 µS/cm respectivamente. Al analizar los resultados de la Tabla 23 se determina que el agua permeada satisface los requisitos ampliamente, sin embargo, el agua blanda presenta valores de conductividad por encima de 3000 µS/cm, lo que no la hace apta para reposición.

Al comparar la calidad del agua permeada y blanda con los valores establecido en la Tabla 9, referido a la calidad del agua de la torre, se establece que utilizando el agua blanda los

ciclos de concentración oscilan de 1 a 2, mientras que utilizando agua permeada los ciclos van de 3 a 10 ciclos. De esto se determina que el agua permeada es la más idónea para los sistemas de enfriamiento, ya que ofrecen un agua con bajas concentraciones de dureza, conductividad y cloruros, lo que permite ciclar más veces y por consiguiente reducir la frecuencia y volumen de purga.

La Tabla 24 muestra los resultados de la caracterización de la calidad del agua residual tratada (salida de la PTAR, Punto 3), los valores de pH, DBO5, DQO, aceites y grasas y sólidos suspendidos totales están por debajo de los límites máximos permisibles para los efluentes de una PTAR (Ministerio del Ambiente-MINAM, 2010), sin embargo la sales presentes en el afluente de la PTAR provenientes de las baños y duchas no son removidos, por ello la concentración de sulfatos, sodio, calcio y magnesio en el agua residual tratada son elevados. Si bien el agua residual tratada presenta bajas concentraciones de carga orgánica, no son lo suficiente para hacerla apta para ser reutilizada en los procesos auxiliares o productivos, asimismo la alta concentración de sales es indicativa de que requiere un tratamiento adicional para la remoción de éstas; para lograr su reutilización se hace necesario pulir su calidad, esto se logrará con la implementación de un sistema de tratamiento adicional.

Tabla 24: Caracterización de la calidad de agua en el Punto3- Efluente de la PTAR

Parámetro	unidad	10/10/2019
pH	-	7.2
DBO5	mg/L	38
DQO	mg/L	80
Aceites y grasas	mg/L	1
Sólidos suspendidos totales	mg/L	18
Sulfatos	mg/L	756.8
Sodio	mg/L	1233.374
Calcio	mg/L	230.426
Magnesio	mg/L	30.861

FUENTE : Laboratorio NSF Inassa (2019)

5.4.2. Procesos que optimicen el reúso de agua residual

a. Determinación del uso de tecnología de membranas de osmosis inversa

Del análisis realizado en el acápite 4.4.1. respecto a las tecnologías utilizadas para el tratamiento de agua fuente, se establece que si bien con el equipo de osmosis inversa PT2 solo se obtiene como agua disponible el 60% de lo alimentado, el agua permeada si cumple con los requisitos para usos en los procesos de planta 2, sin embargo el agua blanda, obtenido del sistema de ablandadores de PT3, no satisface la demanda en calidad para agua de reposición de las torres de enfriamiento, ocasionando que el volumen de purga se incremente y por consiguiente el agua para reposición. Todo lo indicado líneas arriba lleva a determinar que el sistema de ablandadores debe ser reemplazado, y teniendo como antecedente que el agua permeada producto del equipo de osmosis inversa si satisface estos requisitos, se establece que la tecnología más idónea es la de membranas de osmosis inversa para reemplazarla; se hace necesario la implementación de un nuevo equipo de osmosis inversa para PT3.

En Planta 3 se tiene que cubrir la demanda de agua de los siguientes procesos: agua para reposición de las cuatro torres de enfriamiento, ducha, procesos de erema y masterbatch y el equipo de osmosis antiguo PT3; el nuevo equipo de osmosis inversa de PT3 considera cubrir la demanda de todos los procesos de planta 3 (114.9 m³/día), excepto para el equipo de osmosis inversa antiguo PT3, éste tendrá como agua de alimentación el agua fuente (pozo). El diseño del nuevo equipo de osmosis inversa considera un caudal de permeado de 5 m³/hr, considerando su operación las 24 horas, se tiene un caudal de 120 m³/día, esto cubre la demanda de los procesos de PT3 antes descritos. En la Tabla 25 se realiza una evaluación de la viabilidad del equipo de osmosis inversa, en esta se observa que el cliente tiene un área disponible de 24 m² y el equipo a implementar solo demanda 20 m², la demanda de agua a cubrir es de 114.9 m³/día y el equipo de RO se diseña para obtener 120 m³/día como máximo (la oferta va depender de las horas de operación) y respecto a los parámetros de calidad de agua, los valores del agua permeada a obtener satisfacen los requisitos ampliamente, excepto para el valor de pH, para este caso se agrega una solución alcalina hasta llegar al rango deseado; en conclusión el equipo de osmosis inversa nuevo satisface los requerimiento en área, demanda de agua y sobre todo en la calidad, haciendo viable su implementación.

Tabla 25: Evaluación de la viabilidad del Equipo de Osmosis Inversa

Parámetro	Unidad	Requerimiento del cliente	Agua permeada del Equipo de Osmosis inversa
Área	m ²	24	20
pH	-	6.5-10.0	5.5-6.2
Conductividad	μS/cm	< 1500	< 200
Dureza Total	mg CaCO ₃ /L	149.52	< 10
Cloruros	mg/L	< 200	< 50
Fe	mg/L	<0.2	< 0.1
Agua a obtener	m ³ /día	114.9	120

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 26 se muestra el balance y distribución del agua proyectado con el nuevo equipo de osmosis inversa en Planta 3, de este balance se establece que el volumen de agua que se requiere para el tratamiento en PT3 suma una total de 217.55 m³/día, un valor reducido en comparación con los 229.1 m³/día que se utilizaban para el sistema de ablandadores.

En la Tabla 27 se presenta el balance y distribución del agua tratada proyectado con el nuevo equipo de osmosis inversa en Planta 3, se observa que el volumen de agua de reposición que se utiliza para las cuatro torres de enfriamiento de planta 3 se reduce de 128 m³/día (inicialmente, con agua blanda) a 69 m³/día, esta reducción se debe a la mejora en la calidad del agua de reposición; valores reducidos de dureza total, cloruros y conductividad permite que los ciclos de concentración en la torre de enfriamiento se incrementen, en consecuencia, la frecuencia de purga se reduce. En la Tabla 28 se muestra el balance en la torre de enfriamiento utilizando agua blanda y agua permeada, se evidencia que, utilizando agua permeada como reposición, los ciclos de concentración se incrementan 7.5 veces respecto a lo que sucede al utilizar agua blanda, y solo se dispone como purga el 7.25% del volumen alimentado, esto significa un ahorro en el volumen de agua para vertimiento y también se reduce la demanda de agua de reposición. En el Anexo 4 se muestra la información de la Tabla 27 en un diagrama de flujo.

Tabla 26: Balance y distribución del agua proyectado con el nuevo Equipo de Osmosis Inversa en Planta 3

Item	Proceso	Características	Fuente de agua alimentación	Agua alimentación (m3/día)	Agua disponible para uso (m3/día)	Agua a disponer (m3/día)	Tipo de agua a disponer	Lugar de disposición
1	Equipo de Osmosis Inversa Nuevo - PT3	Qpermeado: 5 m3/hr Recovery: 62% Horas de operación: 24 hr	Agua residual tratada (previo tratamiento) y agua fuente (pozo)	193.55	120	73.55	Efluente Industrial	TQ Efluente Industrial-EPS
2	Equipo de Osmosis Inversa Antiguo - PT3	Qpermeado: 12 m3/día Recovery: 50%	Agua fuente (pozo)	24	12	12	Efluente Industrial	TQ Efluente Industrial-EPS
Total (m3/día)				217.55	132	85.55		

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 27: Balance y distribución del agua tratada proyectado con el Equipo de Osmosis Inversa nuevo en Planta 3

Item	Tipo de agua	Proceso	Agua total de alimentación (m3/día)	Agua de alimentación (m3/día)	Pérdida de agua por evaporación (m3/día)	Agua a disponer (m3/día)	Tipo de agua a disponer	Lugar de disposición
1	Agua permeada del Equipo de Osmosis Inversa Nuevo-PT3	Reposición de Torre de Enfriamiento PT3 <i># Torres: 04 und</i>		69	64	5	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
		Duchas <i># personas: 800</i> <i>Dotación: 100 l/día*persona</i> <i>% que presenta: 30% de la dotación</i>	114.9	24	0	24	Efluente doméstico	PTAR
		Masterbatch		8.4	0	8.4	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
		Erema		13.5	0	13.5	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
Sub total (m3/día)			114.9	114.9	64	50.9		
2	Agua permeada del Equipo de Osmosis Inversa antiguo PT3	Lavado de películas	12	12	0	12	Efluente industrial	TQ Efluente industrial-EPS
Sub total (m3/día)			12	12	0	12		
Total			126.9	126.9	64	62.9		

FUENTE: Elaboración propia

Tabla 28: Balance en la Torre de enfriamiento utilizando agua blanda y agua permeada

Parámetros	Unidad	Con Agua Blanda	Con agua permeada
Caudal de Reposición	m3/día	128	69
Ciclos de concentración	-	2	15
Caudal de Evaporación	m3/día	64	64
Caudal de purga	m3/día	64	5
Purga para disponer	%	50%	7.25%

FUENTE: Elaboración propia

b. Determinación del uso de tecnología de membranas de Ultrafiltración

El nuevo equipo de osmosis inversa PT3, para su funcionamiento demanda un caudal de alimentación de 193.55 m3/día (ver tabla 26), para cubrir esta demanda se considera la oferta del agua residual (efluente de la PTAR), considerando que 12 m3/día de ésta se utilizaría para riego de áreas verdes , aproximadamente se cuenta con 68 m3/día de agua residual que se pueden reutilizar (ver tabla 20) y los 125.55 m3/días restantes se cubriría con el agua fuente (pozo), de esta manera se ahorra de 30% a 35% del volumen de extracción del agua fuente.

La Tabla 20 muestra una oferta de 80 m3/día de agua residual tratada para ser reutilizada, si bien 12 m3/día son destinados para el riego de áreas verdes, esta aun requiere mejorar en calidad para cumplir con los valores guías de la OMS; se infiere de ello la necesidad de pulir su calidad para poder reutilizarla, tanto para riego de áreas verdes como para cualquier otro proceso. El agua residual tratada requiere que se aplique un tratamiento que reduzca y/o elimine la concentración de sólidos suspendidos, turbiedad, DBO5, DQO y microorganismos; las sales que contiene serán removidas por el equipo de osmosis inversa. La tecnología de ultrafiltración según se observa en la Figura 3 permite retener las partículas suspendidas, aceites y grasas, bacterias, virus, proteínas, macromoléculas y coloides, ofertando un agua producto solo con iones monovalentes, divalentes y grupo de sub-moléculas; en el acápite 2.1.3 del presente documento se muestra un caso en donde se utiliza un sistema de ultrafiltración para pulir la calidad del agua residual tratada y luego se alimentada a un sistema de osmosis inversa.

En la Tabla 29 se realiza una evaluación de la viabilidad del sistema de ultrafiltración, en esta se observa que el cliente tiene un área disponible de 114 m² y el sistema de UF solo necesita de 64 m² para su implementación, la demanda de agua a tratar es de 80 m³/día y el sistema de UF se puede diseñar para cubrir esta demanda y respecto a los parámetros, el agua producto del sistema de UF satisface la calidad requerida; en conclusión, el sistema de ultrafiltración satisface los requisitos del cliente.

Tabla 29: Evaluación de la viabilidad del Sistema de Ultrafiltración

Parámetro	Unidad	Requerimiento del cliente	Agua producto del Sistema de Ultrafiltración (UF)
Área	m ²	114	64
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	< 1.8	< 1.8
Huevos de helmintos	No Org/L	< 1	< 1
DBO5	mg/L	< 1	< 1
DQO	mg/L	< 1	< 1
Agua a tratar	m ³ /día	80	80

FUENTE: Elaboración propia

c. Diseño del proyecto a implementar para el reúso del agua residual con tecnología de membrana de Ultrafiltración y Osmosis Inversa

El diseño del sistema de tratamiento terciario lo constituyen un sistema de membrana de ultrafiltración (UF), seguido de un sistema de osmosis inversa; en la Tabla 30 se muestra el balance del agua al implementar el reúso del agua residual con tecnología de membrana de ultrafiltración y osmosis inversa. De esta tabla se observa que el agua de alimentación a tratar es de 80 m³/día (efluente de la PTAR), de los cuales se obtiene como agua producto 72 m³/día, 5 m³/día se genera como agua de rechazo y 3 m³/día de agua de lavado, 12 m³/día del agua producto del UF se utiliza para el riego de áreas verdes (al pasar por este sistema se asegura su óptima calidad y que cumpla con lo establecido por la Guía de la OMS) y 60 m³/día se dispone en el tanque de alimentación del equipos de osmosis inversa; el agua producto del sistema de ultrafiltración aporta en promedio 31% y el agua fuente (pozo) 69% al tanque de alimentación del equipo de osmosis inversa, el agua permeada que se obtiene de este tratamiento tiene como objetivo abastecer a los procesos según lo establecido en la Tabla 27. Los datos mostrados en las tablas 26, 27 y 30 se muestran mediante un diagrama en la Figura 9.

Tabla 30: Balance del agua al implementar el reúso del agua residual con tecnología de membrana de Ultrafiltración y Osmosis inversa en OPP Film

Item	Proceso	Fuente de agua alimentación	Agua alimentación (m3/día)	Agua de alimentación (%)	Agua disponible para uso en procesos (m3/día)	Perdida por evaporación (m3/día)	Agua para disponer (m3/día)	Tipo de agua a disponer	Lugar de disposición
1	Sistema de Ultrafiltración (UF)	Efluente de la PTAR (agua residual)	80	100.00	72	0	5	Agua de rechazo	Recirculación al Tanque de alimentación del Sistema de UF
						0	3	Agua de lavado (efluente industrial)	TQ Efluente Industrial-EPS
2	Riego de áreas verdes	Agua producto de UF	12	100.00	0	12	0	No aplica	No aplica
3	Equipo de Osmosis Inversa (RO) Nuevo - PT3	Agua fuente (pozo)	133.55	69.00	120	0	73.55	Efluente Industrial	TQ Efluente Industrial-EPS
		Agua producto de UF	60	31.00					

FUENTE: Elaboración propia

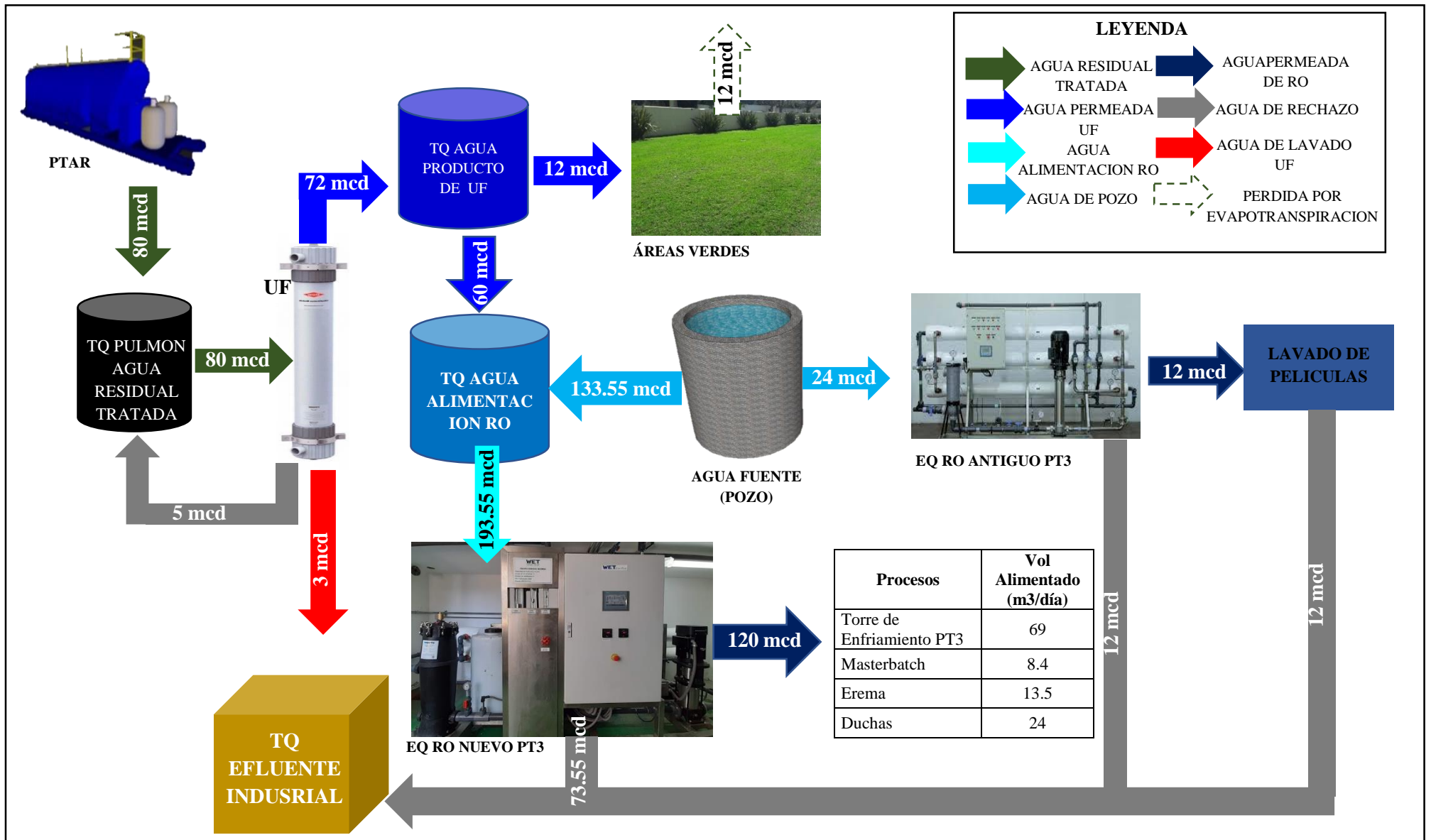


Figura 9: Balance y diagrama con el proyecto de implementación del Ultrafiltración y Osmosis Inversa en serie, reutilizando el agua residual tratada en la Planta 2 y 3

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 31 se muestra el resumen del volumen de agua fuente extraído y para vertimiento proyectado en cada proceso en Planta 2 y 3 implementando el sistema de ultrafiltración y osmosis inversa en serie; respecto a los datos mostrados, el efluente doméstico (baños, duchas, cocina & comedor) ya no se consideran como agua para vertimiento, puesto que el generado se alimenta a la PTAR, y al reutilizar toda el agua residual tratada, el vertimiento de la PTAR es cero.

Tabla 31: Resumen del volumen de agua fuente extraído y para vertimiento proyectado en cada proceso en Planta 2 y 3 implementado el sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa en serie

Procesos en Planta 2 y 3	Agua Fuente extraída (m3/día)	Agua para vertimiento (disposición con EPS) (m3/día)
Baños PT 2 y PT 3	40	0
Planta 2		
Osmosis Inversa PT2	186.7	74.7
Torre de Enfriamiento PT2	0	16.7
Chiller	0	5
Cocina & Comedor	0	0
Pileta	0	20.5
Total, PT2 (m3/día)	186.7	116.9
Planta 3		
Osmosis Inversa nuevo PT3	133.55	73.55
Torre de Enfriamiento PT3	0	5
Ducha	0	0
Masterbatch	0	8.4
Erema	0	13.5
Riego de áreas verdes	0	0
Osmosis Inversa antiguo PT3	24	12
Lavado de películas	0	12
Sistema de UF	0	3
Total, PT3 (m3/día)	157.55	167.45
TOTAL, PT2 Y PT3 (m3/día)	384.25	284.35

FUENTE: Elaboración propia

La Tabla 32 muestra el ahorro en el consumo de agua fuente y el agua para vertimiento para disposición con una EPS proyectado al implementar el sistema de Ultrafiltración y osmosis inversa en serie, reutilizando el agua residual tratada en Planta 2 y 3. De los resultados mostrados se identifica un ahorro del 15.70% del agua fuente extraída y 12.8% del agua para

vertimiento al implementar el sistema de ultrafiltración y osmosis inversa en serie, respecto de la condición inicial.

Tabla 32: Determinación de ahorro proyectado con la implementación de un sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa en serie reutilizando el agua residual tratada en Planta 2 y 3

Situación	Agua fuente extraída (m3/día)	Agua para Vertimiento para disposición con EPS (m3/día)
Condición inicial, antes del proyecto	455.8	326
Con el proyecto propuesto UF + RO en serie	384.25	284.35
Total de Ahorro	71.55 15.7%	41.65 12.8%

FUENTE: Elaboración propia

d. Determinación del diseño del sistema de Ultrafiltración y equipo de Osmosis Inversa nuevo

Para el diseño del sistema de Ultrafiltración y Osmosis Inversa, el equipo de trabajo del área de proyectos utilizó como herramientas el módulo de membrana de fibra hueca PVDF "Serie HF" y el software TORAY DS2 para el sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa, respectivamente, y se complementó el diseño con la experiencia de cada uno de ellos (relacionado al pretratamiento del sistema). En los anexos 5 y 9 se muestran los resultados de la corrida para el diseño del Ultrafiltración y osmosis inversa respectivamente.

El sistema de Ultrafiltración de 80 m3/día de Planta 2 está constituido de un sistema de pretratamiento compuesto de un filtro multimedia de 5 pies³, seguido de un filtro de carbón activado de 5 pies³ y un equipo ultravioleta (UV), el proceso de ultrafiltración está conformado por una membrana de ultrafiltración de la marca Toray; el agua producto se almacena en dos tanques, el tanque de agua para limpieza y el tanque de agua producto de UF. Dentro de los componentes auxiliares del equipo se tienen las bomba de alimentación, manómetros, válvulas eléctricas, línea de aire y agua y el tablero eléctrico en donde se encuentran los comandos de automatización. En el anexo 6 se presenta el P&ID y en el 7 se listan los componentes y sus características técnicas.

Como se mencionó antes, para el diseño del sistema de osmosis inversa se utilizó como herramienta el software Toray DS2 y se complementó con otras consideraciones de diseño establecido por el jefe de proyecto (sistema de pretratamiento, determinación de productos químicos a dosificar). El proyecto considera que el agua fuente (pozo) aporta un 69% al tanque de agua de alimentación del equipo de osmosis inversa y el agua producto del sistema de ultrafiltración un 31%; la corrida del software se realizó considerando solo la calidad del agua fuente de la Planta 2 y 3, este solicitó como entrada de información la calidad de agua a tratar (agua de alimentación), se ingresó los datos del agua de pozo (agua fuente) muestreado el 07 de setiembre del 2018, los mismos que se muestran en la Tabla 22, pero luego por requerimiento del software tuvieron que ser ajustados al igual que otras variables, esto fue realizado por el Ingeniero a cargo del diseño. El software permite establecer la cantidad de portamembranas, membranas que lo componen en función del tipo de membrana a utilizar, en este caso se diseñó utilizando la membrana Toray TM720D-400, la presión de la alimentación, el flujo de permeado y rechazo del sistema; los resultados de la corrida del software se muestran en el Anexo 9.

El equipo de osmosis inversa se constituye de tres skid, el de pretratamiento, de membranas y de limpieza (CIP). El sistema de pretratamiento se constituye de un filtro multimedia (retención de 20 micras) y un filtro de sedimentos de 1 micra, tienen como finalidad proteger a la membrana de osmosis inversa de un ensuciamiento, el sistema de membranas lo componen una bomba de alta presión, seguido se ubica dos portamembranas, cada una contiene tres membranas, de esta hay dos líneas de flujo, una es el permeado (sale del tubo central) y otra es el rechazo (salida lateral). Finalmente, el skid de limpieza consta de una bomba de baja presión, un portafiltro y filtro de 5 micras, un tanque de almacenamiento y un sistema de válvulas; tiene como función realizar el lavado de membranas con el agua permeada (flushing) para reducir el ensuciamiento. Sumado a ello se tiene un sistema de bombas que dosifican antiincrustante (reducir la probabilidad de incrustación en la membrana), solución alcalina y secuestrante de cloro, este último solo se dosifica cuando el agua de alimentación lo alimenta el sistema de ultrafiltración. El agua permeada se almacena en el tanque CIP y en el tanque de agua permeada, de este tanque se distribuye para el uso en procesos. En el anexo 10 se listan los componentes y sus características técnicas.

5.4.3. Performance de las tecnologías implementadas

Para poder determinar la eficiencia de los sistemas implementados, se procedió a caracterizar la calidad de agua de ingreso y salida de cada proceso.

a. Evaluación del performance del sistema de Ultrafiltración

El sistema de ultrafiltración se puso en marcha la primera semana de marzo del 2020 y la tercera semana del mismo mes el país entró en estado de emergencia por el covid-19; por medidas de seguridad el cliente restringió el acceso a terceros hasta mediados de junio. En la quincena de junio se reiniciaron las visitas a planta, sin embargo, la PTAR presentó problemas técnicos y operativos por lo que quedó en stand by, el sistema de ultrafiltración al no tener agua que tratar también quedó paralizada. La situación anterior no permitió que se pudiera caracterizar el agua de ingreso y salida a la misma vez, sin embargo, se cuenta con estos resultados, pero con fecha distinta; son estos valores los que se muestran en las Tabla 33.

En la Tabla 33 se muestran los resultados de la calidad de agua al ingreso del sistema de ultrafiltración muestreados en octubre del 2019, los mismos que se utilizaron para el diseño preliminar del sistema de ultrafiltración y los resultados de la calidad del agua del agua producto del sistema de Ultrafiltración. En la Tabla 10 (ver acápite 3.4.1) se establecen los parámetros de calidad del agua de alimentación recomendado para utilizar en un sistema de ultrafiltración, esta indica que el valor de pH debe estar en el rango de 1-10, los sólidos suspendidos totales (SST) deben ser menor a 100 ppm y la concentración de aceite menor a 2 ppm; los resultados de la Tabla 33, referido al ingreso al sistema UF cumplen con lo recomendado en la Tabla 10 para los parámetros antes mencionados.

Tabla 33: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 4-Ingreso al Sistema de Ultrafiltración (UF) y en el Punto 5 – Agua productos del Sistema de Ultrafiltración (UF)

Parámetros	unidad	Punto 4-Ingreso al sistema UF (10/10/2019)	Punto 5-Agua producto del sistema UF (06/03/2020)
pH	-	7.2	8.3
DBO5	mg/L	38	<3
DQO	mg/L	80	<4
Aceites y grasas	mg/L	1	<0.2
Sólidos suspendidos totales	mg/L	18	-
Nitrógeno amoniacal	mg/L	5.16	-
Sulfatos	mg/L	756.8	580.1
Conductividad	µS/cm	-	4
Cloruros	mg/L	-	763.8
Sulfatos	mg/L	-	580.1
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 L	-	<1.8
<i>Escherichia Coli</i>	NMP/100 L	-	<1.8
Huevos de Helminto	No Org/L	-	<1
ICP			
Aluminio Total	mg/L	0.083	<0.003
Antimonio Total	mg/L	<0.00013	<0.00013
Arsénico Total	mg/L	0.00202	0.0016
Bario Total	mg/L	0.024	0.0222
Berilio Total	mg/L	<0.0006	<0.00006
Bismuto Total	mg/L	0.00029	<0.00003
Boro Total	mg/L	0.817	0.701
Cadmio Total	mg/L	<0.00003	<0.00003
Calcio Total	mg/L	230.426	116.843
Cobalto Total	mg/L	0.00022	<0.00003
Cromo Total	mg/L	<0.0003	<0.0003
Cobre Total	mg/L	0.00518	<0.00009
Estroncio Total	mg/L	0.5883	0.58
Estaño Total	mg/L	<0.00010	<0.00010
Hierro Total	mg/L	0.2669	0.077
Fosforo total	mg/L	2.584	2.592
Litio Total	mg/L	0.0376	0.0467
Magnesio Total	mg/L	30.861	25.516
Manganeso Total	mg/L	0.05423	0.01696
Molibdeno Total	mg/L	0.01375	0.00789
Niquel Total	mg/L	0.0013	0.0041
Plata Total	mg/L	<0.000010	<0.000010

«continuación»

Plomo Total	mg/L	<0.0006	<0.0006
Potasio Total	mg/L	9.8	12.15
Selenio Total	mg/L	<0.0013	<0.0013
Silicio Total	mg/L	24.22	20.03
Sodio Total	mg/L	1233.374	735.439
Talio Total	mg/L	<0.00006	<0.00006
Titanio Total	mg/L	0.0058	<0.00019
Vanadio Total	mg/L	0.0029	0.0048
Zinc Total	mg/L	0.033	0.0442

FUENTE: Elaboración propia, recopilación de Laboratorio NSF Inassa (2019) y Laboratorio NSF Inassa (2020).

La puesta en marcha del sistema de ultrafiltración se realizó el 04 de marzo del 2020 y el muestreo del agua producto se realizó el 06 de marzo del 2020, los resultados se plasman en la Tabla 33. La DBO5, DQO y aceites y grasas presentan valores de remoción del 92.11%, 95% y 80% respectivamente; en lo que respecta a la remoción de iones y sales, solo el hierro presenta un porcentaje de remoción significativo (71%), estos resultados se muestran en la Tabla 34. Estos resultados de remoción eran de esperarse, ya que el sistema de ultrafiltración de acuerdo a lo identificado en la Figura 3 (ver acápite 3.4) retiene compuestos orgánicos, grasas, virus y bacterias, sin embargo, permite el paso de iones monovalentes y divalentes; los iones y sales están dentro de este último grupo, por lo que el porcentaje de remoción es poco significativo.

Tabla 34: Determinación del porcentaje de remoción de sales del sistema de Ultrafiltración (UF)

Parámetros	unidad	Ingreso a UF	Salida de UF	% de remoción
Sulfatos	mg/L	756.8	580.1	23%
Calcio	mg/L	230.426	116.843	49%
Hierro	mg/L	0.2669	0.077	71%
Magnesio	mg/L	30.861	25.516	17%
Sodio	mg/L	1233.374	735.439	40%

FUENTE: Elaboración propia

En la Tabla 13 (ver acápite 3.5), se establecen los valores guía establecidos por la OMS para el reúso de agua para riego de áreas verdes, en base a ello se tiene que los Coliformes

Termotolerantes no deben superar los 1000 NMP/100 L y los huevos de helminto deben ser menor a 1 No Org/L (Organización Mundial de la Salud-OMS, 1989) ; la Tabla 33 muestra los resultados de la calidad del agua producto del sistema de ultrafiltración, en lo que respecta a Coliformes Termotolerantes se tiene un valor menor a 1.8 NMP/100 mL y los huevos de helmintos son menor a 1 Org/L , en base a estos resultados se establece se cumple con los valores guía de la OMS , asegurando de esa manera que el agua producto es apta para el riego de áreas verdes y no representa riesgo para la salud.

b. Evaluación del performance del Equipo de Osmosis Inversa nuevo de PT3

El proyecto consideraba que el agua producto del sistema de ultrafiltración y el agua fuente (pozo) constituirían el agua de alimentación del equipo de osmosis inversa, sin embargo, a la fecha de la puesta en marcha, el 23 de febrero del 2021, y de la toma de muestra, el sistema de Ultrafiltración se encontraba en stand by, motivo por el cual el agua de alimentación está compuesta al 100% por el agua fuente (pozo).

En la Tabla 35 se muestran los resultados de la caracterización del agua de alimentación (Punto 6), que a la fecha de muestreo viene a ser agua fuente (pozo), y permeado (Punto 7); los resultados del 23/02/2021, 01/03/2021 y 09/03/2021 fueron determinados in situ con los equipos de WET Chemical, mientras que los resultados del 05/03/21, excepto el valor de pH (in situ con equipo de WET Chemical) fueron reportados por el Laboratorio NSF Inassa. Los parámetros que se consideran para evaluar el funcionamiento de un equipo de osmosis inversa son pH, conductividad, dureza total y cloruros, tanto al ingreso como a la salida, por lo que en el monitoreo semanal solo se consideran estos parámetros. El análisis realizado el 05/03/2021 para el agua de alimentación, consideró otros parámetros complementarios tales como sólidos disueltos totales, alcalinidad, sulfatos, metales por ICP y coliformes totales (ver Anexo 11), esto permitió comparar la calidad de agua de alimentación real con la utilizada para el diseño (ver Tabla 22); notándose que no hay diferencias significativas que puedan afectar los resultados del tratamiento implementado.

Tabla 35: Caracterización de la calidad de agua en el Punto 6-Agua de alimentación y Punto 7- Agua permeada del Equipo de Osmosis Inversa (RO) PT3 implementado y evaluación del performance

Parámetros	unidad	23/02/2021		1/03/2021		5/03/2021		9/03/2021		
		Punto 6	Punto 7	Punto 6	Punto 7	Punto 6	Punto 7	Punto 6	Punto 7	
Parámetros de la calidad de agua	pH	-	6.95	5.8	6.82	5.81	7.1	5.85	6.84	5.91
	Conductividad	μS/cm	3390	45.6	3413	37	3217	28	3067	33
	Dureza total	mgCaCO3/L	1280	0	1260	0	1260	<1	1140	0
	Cloruros	mg/L	-	-	816.5	14.8	641.48	4.82	781	14.8
	Flujo de agua	m3/hr	8.7	5.52	8.4	5.4	8.7	5.4	8.55	5.55
Parámetros operacionales	Recovery	%	63.45%		64.29%		62.07%		64.91%	
	Rechazo de sales	%	99.1%		99.3%		99.5%		99.3%	
	Rechazo de dureza	%	100.0%		100.0%		100.0%		100.0%	

FUENTE: Elaboración propia

De las variables operacionales que indican en la Tabla 35, para el funcionamiento del equipo de osmosis inversa (flujo de agua, Recovery, rechazo de sales y rechazo de dureza) se tiene como resultados lo siguiente: flujo promedio de permeado 5.4 m³/hr, 63.68% de recovery, 99.3% de rechazo de sales y 100% de rechazo de dureza. En base a estos, se infiere que el equipo de osmosis inversa implementado está funcionando correctamente, puesto que cumple con los parámetros de diseño (Recovery y caudal de agua permeada) y ofrece un agua permeada de calidad óptima (alto rechazo de sales y dureza).

La Tabla 36 presenta los resultados de la evaluación de la aptitud de la calidad del agua permeada para uso en sistema de enfriamiento, en esta se observa que los valores que presenta el agua permeada están dentro del rango de los valores establecidos para la calidad de agua de reposición de torre de enfriamiento, excepto para el valor de pH, para alcanzar el valor solicitado se dosifica una solución alcalina; si bien el agua permeada es apta para la reposición de las torres de enfriamiento, son los valores del agua de la torre los que definirán que tan buena es respecto a otras tecnologías.

Los parámetros del agua de la torre son los que establecen el número de veces que cicla el agua en la tina antes de purgar, mientras la calidad de agua de reposición presente valores más reducidos de conductividad, dureza y cloruros, los ciclos de concentración serán mayores; considerando el agua permeada como agua de reposición, se calcula que el agua de reposición en la tina puede llegar a ciclar hasta 30 veces antes de purgar, para efectos del diseño y balance se considera 15 ciclos de concentración. En la Tabla 28 (ver acápite 4.4.2) se compara el balance de agua de la torre utilizando agua blanda y agua permeada, se refleja un ahorro de 59 m³/día cuando se utiliza agua permeada a 15 ciclos de concentración; esto demuestra la ventaja de utilizar agua permeada respecto al agua blanda.

Tabla 36: Evaluación de la aptitud de la calidad del agua permeada para uso en sistema de enfriamiento

Parámetros	unidad	Permeado de RO	Agua de reposición de Torre	Agua de la Torre
pH	-	5.84	9.0-10.5	7.5-8.5
Conductividad	μS/cm	35.9	<1500	<2200
Dureza total	mg CaCO3/L	0	149.52	71.2
Cloruros	mg/L	11.5	-	<200
Fe	mg/L	<0.0013	<0.2	-

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: Los resultados del permeado de la osmosis inversa (RO), son valores promedios de los monitoreos realizados, solo el valor de Fe es del análisis realizado el 05/03/2021.

Nota 2: Los valores del agua de reposición de torre y agua de la torre, son los establecidos en las Tablas 8 y 9, tomando como referencia lo establecido por, Bruckner Maschinenbau (n.d.).

El agua permeada del equipo de osmosis inversa (RO) implementado debe cubrir la demanda de agua para uso en duchas, para determinar la aptitud para este uso se compara con los valores establecidos en los Anexo I, II y III (solo inorgánicos) del Decreto Supremo 031-2010-SA, Reglamento de la calidad de agua para consumo humano (Ministerio de Salud-MINSA, 2010); la Tabla 37 muestra los resultados de la evaluación de la aptitud de la calidad del agua permeada para uso en consumo para agua potable (duchas) , para ello considera los resultados obtenidos del muestreo el 05/03/2021 y los compara con los límites máximos permisibles (LMP) del Decreto Supremo 031-2010-SA para parámetros microbiológicos, de calidad organoléptica y químicos inorgánicos referidos al anexo I, II y III, respectivamente. De los resultados mostrados, se observa que todos los valores del agua permeada están dentro del límite establecido, excepto el valor del pH, en este caso para regular su valor se procede con la dosificación de una solución alcalina. Se valida que el agua permeada del equipo de osmosis inversa es apta para el uso en las duchas.

Tabla 37: Evaluación de la aptitud de la calidad del agua permeada para uso en consumo para agua potable (duchas)

Tipo de parámetro	Parámetro	Unidad	Agua permeada del Equipo RO PT3	DS 031-2010-SA
Anexo I- Parámetros microbiológicos	Coliformes Totales	NMP/100 ml (a)	<1.8	<1.8
	pH	-	5.85	6.5 - 8.5
	Conductividad	µS/cm (b)	28	1500
	Sólidos disueltos totales	mg/L	18	1000
Anexo II- Parámetros de Calidad Organoléptica	Cloruros	mg/L	4.82	250
	Sulfatos	mg/L	0.53	250
	Dureza total	mg/L	<1	500
	Hierro	mg/L	<0.0013	0.3
	Manganeso	mg/L	<0.00010	0.4
	Aluminio	mg/L	<0.003	0.2
	Cobre	mg/L	<0.00009	2
	Zinc	mg/L	0.0056	3
	Sodio	mg/L	4.796	200
	Anexo III- Parámetros químicos inorgánicos	Antimonio	mg/L	<0.00013
Arsénico		mg/L	<0.00010	0.01
Bario		mg/L	<0.0003	0.7
Boro		mg/L	0.225	1.5
Cadmio		mg/L	<0.00003	0.003
Cromo total		mg/L	<0.0003	0.05
Mercurio		mg/L	<0.00009	0.001
Níquel		mg/L	<0.0006	0.02
Plomo		mg/L	<0.0006	0.01
Selenio		mg/L	<0.0013	0.01
Molibdeno	mg/L	<0.00006	0.07	
Uranio	mg/L	<0.000010	0.015	

FUENTE : Elaboración propia con información de Laboratorio NSF Inassa (2021) y Ministerio de Salud-MINSA(2010)

Nota 1: (a) En el DS 031-2020-SA indica que en unidades de UFC/100 ml el valor es 0, pero en unidades de NMP/100 ml, el límite es ≤ 1.8 . (b) las unidades son en µmho/cm, se hace conversión a µS/cm. 1 µmho/cm equivale a 1 µS/cm.

Con los resultados mostrados se infiere que la calidad de agua permeada del equipo de osmosis inversa PT3 implementado satisface los parámetros de calidad requeridos para los procesos de la Planta 3, según lo establecido en la Tabla 27. Respecto a la oferta de agua

permeada, se estima un flujo promedio de 5.4 m³/hr, considerando que el equipo funcione las 24 hr, se tiene 129.6 m³ de agua permeada por día, la demanda a cubrir según lo establecido en la Tabla 27, es de 114.9 m³ por día. De lo antes mencionado se determina que el equipo de osmosis inversa PT3 satisface en cantidad y calidad los procesos de Planta 3 para lo cual fue diseñado.

c. Evaluación de la implementación del sistema de Ultrafiltración y Osmosis inversa en PT 2 y 3

El proyecto de reúso del agua residual tratada considera que la Planta de tratamiento de aguas residuales (PTAR), sistema de Ultrafiltración y equipo de osmosis inversa trabajen en serie, proyectado de esta manera se logra cumplir con el ahorro de agua calculado en la Tabla 31 (ver acápite 5.4.2) , sin embargo, a la fecha de la puesta en marcha del equipo de osmosis inversa PT3, la PTAR y el sistema de Ultrafiltración se encontraban en stand by; en esta situación el equipo de osmosis inversa entró en funcionamiento, teniendo como fuente de alimentación solo al agua fuente (pozo). La Tabla 38 presenta un resumen del volumen de agua fuente extraída y agua para vertimiento considerando solo el funcionamiento del equipo de osmosis inversa de PT3.

Tabla 38: Resumen del volumen de agua fuente extraído y agua para vertimiento en cada proceso en Planta 2 y 3, considerando en funcionamiento solo el Equipo Osmosis inversa nuevo PT3

Procesos en Planta 2 y 3	Agua Fuente extraída (m3/día)	Agua para vertimiento (disposición con EPS) (m3/día)
Baños PT 2 y 3	40	40
Osmosis Inversa PT2	186.7	74.7
Torre de Enfriamiento PT2	0	16.7
Planta 2 Chiller	0	5
Cocina & Comedor	0	16
Pileta	0	20.5
Total, PT2 (m3/día)	186.7	132.9
Osmosis Inversa nuevo PT3	209.03	79.43
Planta 3 Torre de Enfriamiento PT3	0	5
Ducha	0	24

«continuación»

Masterbatch	0	8.4
Erema	0	13.5
Riego de áreas verdes	9.3	0
Osmosis Inversa antiguo PT3	0	0
Lavado de películas	0	12
Total, PT3 (m3/día)	218.3	142.3
TOTAL, PT2 y PT3 (m3/día)	445.0	315.2

FUENTE: Elaboración propia

De los resultados mostrados en la Tabla 38 se observa que el volumen de agua fuente extraída para el funcionamiento del nuevo equipo de osmosis inversa de PT3 es de 209.03 m³/día, generando un flujo de rechazo de 79.43 m³/día (que se va a vertimiento) y un permeado de 129.6 m³/día (se considera un flujo de 5.4 m³/h, 24 horas de operación y un recovery de 62%); la Tabla 27 (ver acápite 5.4.2.) señala que el nuevo equipo de osmosis inversa PT3 debe cubrir una demanda de 114.9 m³/día, sin embargo, la oferta actual de agua permeada es de 129.6 m³/día, dejando disponible 14.7 m³/día de agua permeada. El equipo de osmosis inversa antiguo de PT3 se pone en stand by y se cubre su oferta de agua para el lavado de películas (12 m³/día) con los 14.7 m³/día de agua permeada disponible del nuevo equipo de osmosis inversa PT3, el saldo que obedece a 2.7 m³/día se utiliza para cubrir una parte de la demanda de agua para el riego de áreas verdes, teniendo que extraer del agua fuente solo 9.3 m³/día. En lo que respecta al efluente generado por los baños, cocina & comedor y duchas, al no funcionar la PTAR, este es dispuesto para vertimiento con una EPS.

La Tabla 39 muestra el ahorro al funcionar solo el nuevo equipo de osmosis inversa en PT3 y utilizar como agua de alimentación al 100% el agua fuente. De los resultados mostrados se identifica un ahorro de 2.4% para la cantidad de agua fuente extraída y 3.3% en el agua para vertimiento, sin embargo este valor se vuelve poco significativo en comparación al ahorro generado al reutilizar el agua residual tratada en el nuevo equipo de osmosis inversa PT3, previo tratamiento por un sistema de Ultrafiltración; con ambos sistemas en funcionamiento (UF y RO) se logra un ahorro del 15.7% y 12.8% para los indicadores de la cantidad de agua fuente extraída y agua para vertimiento respectivamente, tal como lo muestra la Tabla 32.

Tabla 39: Determinación del ahorro al funcionar solo el nuevo equipo de Osmosis inversa en Planta 3 y utilizar como agua de alimentación al 100% el agua fuente

Situación	Agua fuente extraída (m3/día)	Agua para vertimiento (disposición con EPS) (m3/día)
Condición inicial, antes del proyecto	455.8	326
Solo con el nuevo Equipo de Osmosis inversa (RO) PT3	445.0	315.2
Total de Ahorro	10.8 2.4%	10.8 3.3%

FUENTE: Elaboración propia

VI. IMPACTO

6.1. BENEFICIO ECONÓMICO

6.1.1. Beneficio económico para el Cliente (OPP Film)

Para determinar la viabilidad técnica y económica del proyecto de reúso de agua residual tratada utilizando tecnología de ultrafiltración y osmosis inversa, se estableció como indicadores la cantidad de agua fuente extraída y la cantidad de agua para vertimiento.

La Tabla 32 (ver acápite 5.4.2) muestra que al utilizar el sistema de ultrafiltración y el equipo de osmosis inversa, en serie y reutilizando el agua residual tratada, se presenta un ahorro de 15.7% y 12.8% en la cantidad de agua fuente extraída y agua para vertimiento respectivamente; la Tabla 39 considera la evaluación de estos indicadores considerando solo el funcionamiento del nuevo equipo de osmosis inversa PT3, en esta situación el ahorro es solo de 2.4% para la cantidad de agua fuente extraída y 3.3% para la cantidad de agua para vertimiento. Se determina que, en cualquiera de los dos casos, se presenta un ahorro, sin embargo, el reúso del agua residual tratada con el sistema de ultrafiltración y osmosis inversa presenta mejores resultados en ambos indicadores; el proyecto es técnicamente viable, puesto que satisface la calidad de agua requerida para los procesos en donde se requiere su uso y también registra ahorro de cantidad de agua.

Para determinar los beneficios económicos del proyecto implementado, se procede a realizar una evaluación económica de los ahorros indicados en la Tabla 32 y 39; para calcular el costo de vertimiento se establece como costo promedio por succión y disposición de efluente un valor de S/ 80/m³ (valor promedio estimado considerando cotización de una EPS) y para el costo de agua fuente extraída , un valor de S/1.1583/m³ (S/0.1583/ m³ , tarifa de agua subterránea para uso industrial según se identifica en la Tabla 14 y S/ 1/m³ por gastos operativos por la depreciación de la bomba de succión , energía consumida y personal operativo); los resultados del cálculo se muestran en la Tabla 40.

Según los resultados de la Tabla 40, se calcula un ahorro bruto de \$ 332 709.04/año reutilizando el agua residual con el sistema de ultrafiltración y osmosis inversa y \$ 85 282.02/año utilizando solo el nuevo equipo de osmosis inversa.

Tabla 40: Beneficios económica calculado a partir del ahorro con la implementación del Sistema de Ultrafiltración (UF) y/o Equipo de Osmosis inversa (RO)

Sistema	Agua fuente extraída			Agua para Vertimiento				Total	
	m3/día	m3/mes	S//mes	m3/día	m3/mes	S//mes	S//mes	S//año	\$/año (*)
con UF+RO	75.55	2266.5	2625.29	41.65	1249.5	99960	102585.29	1231023.44	332709.04
Solo RO	10.8	324	375.29	10.8	324	25920	26295.29	315543.47	85282.02

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: (*) considerando un Tipo de cambio de 3.7

El sistema de ultrafiltración (UF) y equipo de osmosis inversa (RO) para su correcto funcionamiento requieren de ciertos consumibles, tal es el caso productos químicos, membranas, mantenimiento entre otros. En la Tabla 41 y 42 se listan los componentes que se consideran para el correcto funcionamiento de los equipos implementados, se determina un costo de tratamiento de \$ 9811/año cuando el sistema de ultrafiltración y equipo de Osmosis inversa funcionan de manera conjunta y \$5520/año cuando solo funciona el equipo de osmosis inversa.

Para la determinación del costo de tratamiento del sistema de ultrafiltración se establece lo siguiente: dosificación de una solución de hipoclorito de sodio al agua producto a manera de protección ante una contaminación microbiológica en la línea de distribución en las tuberías, la membrana de UF tiene un tiempo de vida promedio de tres años, el equipo UV debe cambiarse promedio una vez al año y el mantenimiento preventivo a todo el sistema se realiza una vez al año como mínimo; para el funcionamiento del equipo de osmosis inversa se requiere de la dosificación de un secuestrante de cloro (solo se aplica cuando se trabaja con el UF), antiincrustante y solución alcalina , los dos primeros tienen como objetivo proteger la membrana y evitar que se dañe y el ultimo se dosifica para regular el pH, para uso en otros procesos, las membranas tienen un tiempo de vida útil de tres años (seis

membranas), el filtro de sedimentos de 1 micra se cambia dos veces al año y se realiza un mantenimiento preventivo una vez al año como mínimo.

Tabla 41: Costo de tratamiento para el funcionamiento del UF y RO en serie

Sistema	Parámetros	\$/año
RO	Productos químicos (*)	3144
	Membrana de osmosis inversa	1700
	Filtro de sedimentos	560
	Mantenimiento preventivo	800
UF	Productos químicos	540
	Membrana de Ultrafiltración	667
	Equipo UV	900
	Mantenimiento preventivo	1500
Total		9811

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: (*) considera como producto al secuestrante de cloro, solución alcalina y antiincrustante.

Tabla 42: Costo de tratamiento cuando funciona solo el Equipo de RO PT3

Parámetros	\$/año
Productos químicos (*)	2460
Membrana de osmosis inversa	1700
Filtro de sedimentos	560
Mantenimiento preventivo	800
Total	5520

FUENTE: Elaboración propia

Nota 1: (*) considera como producto solución alcalina y antiincrustante

En la Tabla 43, se muestran los datos para determinar el tiempo del retorno de la inversión; para calcular el ahorro neto, se considera el ahorro inicial y el costo de tratamiento para cada sistema de tratamiento previamente calculados en la Tabla 40, 41 y 42.

La inversión realizada por el equipo de ultrafiltración y osmosis inversa suman un total de 73 200.02 dólares, si bien el equipo de UF se encuentra en stand by, la inversión por este equipo ya se realizó. Calculado el ahorro neto y la inversión en los equipos, se determina que el tiempo de retorno de la inversión utilizando el sistema de ultrafiltración y equipo

osmosis inversa es de 0.23 años (aproximadamente 3 meses) y utilizando solo el equipo de Osmosis inversa es de 0.92 años (aproximadamente 11 meses). De lo mencionado se concluye que la inversión en la implementación del proyecto económicamente es rentable, ya que en el peor de los casos se retorna la inversión en menos de 1 año y en el mejor en tres meses, se tiene entonces que a partir del segundo año se tendría un ahorro neto mínimo de \$ 79762/ año y en el mejor de los casos un ahorro de \$ 322898/año (ver Tabla 43).

Tabla 43: Determinación del tiempo de retorno de la inversión

Sistema de tratamiento	Ahorro inicial (\$/año)	Costo de tratamiento (\$/año)	Ahorro neto (\$/año)	Inversión en Equipos (\$)	Tiempo de retorno (años)
con UF+RO	332709.0	9811	322898.0	73200.02	0.23
Solo RO	85282.0	5520	79762.0	73200.02	0.92

FUENTE: Elaboración propia

6.1.2. Beneficio económico para WET Chemical Perú

Los equipos de Ultrafiltración y osmosis inversa suministrados significaron una venta de 73 200.02 dólares entre los años 2020 y 2021, asimismo los consumibles y servicios identificados en la Tabla 41 y 42 para los sistemas de ultrafiltración y osmosis inversa, son una oportunidad de negocio para WET Chemical; se tiene una proyección de venta de \$ 5520/año a \$ 9811/año, solo para esta línea de tratamiento. El realizar seguimiento al sistema de tratamiento y visitar periódicamente al cliente permite identificar nuevas oportunidades de negocios en las otras líneas de tratamiento de agua (servicios de mantenimiento, suministros de productos químicos, y/o nuevos equipos de tratamiento), en este cliente se estima una proyección de venta de \$85000/año.

6.2. BENEFICIO PROFESIONAL

El trabajo que se desempeña en la empresa WET Chemical Perú ha permitido ampliar los conocimientos y estar en constante aprendizaje sobre los sistemas de tratamiento de agua fuente y residual, considerando para ello tecnologías de membranas y modulares, que en muchos países se aplican para optimizar los procesos en respuesta a la escasez del agua; las capacidades y conocimientos se ampliaron al participar en capacitaciones dadas por expertos nacionales e internacionales en la materia, las mismas que han dado la oportunidad para

relacionarse con profesionales de varias especialidades, lo que ha permitido ampliar la red de contactos. Entender el principio de funcionamiento, participar en el proceso de diseño, implementación, puesta en marcha y determinar los parámetros que se requieren monitorear en equipos de tratamiento de agua, permite analizar todo el proceso de tratamiento que se implemente. A través de los años se ha reforzado la capacidad de análisis en la evaluación de procesos y se ha ampliado los criterios que permiten determinar el desarrollo de un proyecto.

Los conocimientos teóricos, capacidad de análisis, de planificación y diseño de nuevos proyectos (planes, programas y demás) adquiridos en el proceso de formación profesional han dado los cimientos para poder desempeñar la labor en WET Chemical, sin embargo no han sido lo suficiente para enfrentarse al mundo laboral ; se determina que es necesario una actualización sobre los conocimientos de los sistemas de tratamiento de agua residual acorde al avance tecnológico , puesto que los aprendidos son aplicables más al sector público, sin embargo el privado ha optado por tecnologías modulares y modernas aplicadas en países desarrollados. Dentro de la carrera profesional de Ingeniería Ambiental se debería reforzar los conocimientos en lo que respecta al tratamiento de otras fuentes de agua, diferentes al agua superficial y para uso dentro de procesos industriales y finalmente se hace necesario realizar visitas de campo en donde el alumno pueda contrastar la parte teórica con la práctica y pueda formular conclusiones.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

1. Del análisis realizado, en la condición inicial de la Planta 2 y 3 de OPP Film, respecto a la cantidad de agua, se determina que de los 455.8 m³/día que se extrae del agua fuente (pozo), 117.8 m³/día se pierden por evaporación, sólo 12 m³/día se reutiliza en el riego de áreas verdes y 326 m³/día van para vertimiento, de los cuales 68 m³/día corresponde al agua residual tratada sin reaprovechar.
2. En la condición inicial, el agua fuente obedece a la caracterización de fuentes subterráneas de la zona baja de Lurín, para su uso en los procesos de Planta 2 y 3 requiere ser tratada, por lo cual utilizan tecnologías de osmosis inversa (PT2) y sistema de ablandadores (PT3). El agua blanda, resultante del sistema de ablandadores, presenta valores de dureza por encima de 10 mg CaCO₃/L y de conductividad por encima de 3000 µS/cm, siendo no apta para uso en los procesos de PT3; el agua residual tratada, producto de la PTAR, presenta altas concentraciones de sales, por lo que no puede reutilizarse directamente en los procesos de PT3, siendo necesaria aplicar un tratamiento terciario.
3. Se determinó que el sistema de ablandadores de PT3 debe ser reemplazado por una tecnología que remueva sales, se establece como la mejor opción la tecnología de membras de osmosis inversa; esta satisface en calidad y demanda de agua para uso en procesos de PT3. Del análisis se concluye que la tecnología de ultrafiltración puede remover los sólidos suspendidos, carga orgánica y microbiológica del agua residual tratada, haciéndola apta para su reúso en riego de áreas de verdes y como fuente de abastecimiento para el agua de alimentación del nuevo equipo de osmosis inversa de PT3.

4. Frente a los datos recabados, reutilizar el agua residual con tecnología de ultrafiltración y osmosis inversa y que estas trabajen en serie, permite ahorrar 15.7 % del agua fuente extraída y 12.8% del agua para vertimiento, respecto de la condición inicial.
5. Tras el análisis, se determinó que la calidad del agua producto del sistema de ultrafiltración, respecto a los parámetros de coliformes Termotolerantes y huevos de helmintos, se adecuan a los requisitos de la Guía de la OMS para reúso en riego de áreas verdes; para el reúso en el agua de alimentación para el equipo de osmosis inversa nuevo en PT3 los valores de DBO5, DQO y aceites y grasas satisfacen los requerimientos. Del mismo modo, el agua permeada del equipo de osmosis inversa nuevo de PT3, satisface en cantidad y calidad para uso en sistemas de enfriamiento y consumo humano.
6. Se determinó que al utilizar solo el equipo de osmosis inversa nuevo en PT3 y utilizar como agua de alimentación única el agua fuente, se ahorra 2.4 % del agua fuente extraída y 3.3 % del agua para vertimiento, respecto de la condición inicial.
7. Finalmente, se establece que la implementación de un nuevo equipo de osmosis inversa en PT3, en reemplazo del sistema de ablandadores, trae consigo resultados favorables, tanto en cantidad como calidad, sin embargo, los ahorros son más significativos, 7 veces más en el volumen de agua fuente extraída y 3.8 veces más en el volumen de agua para vertimiento, cuando se reutiliza el agua residual implementando tecnología de ultrafiltración y osmosis inversa de manera conjunta.

7.2. RECOMENDACIONES

1. En la caracterización del efluente de la Planta de Tratamiento de aguas residuales (PTAR) se debe monitorear los parámetros microbiológicos tales como coliformes Termotolerantes y huevos de helminto.
2. En la caracterización del sistema de ultrafiltración, se debe realizar el monitoreo del

ingreso y salida en la misma fecha y considerar los parámetros de sólidos suspendidos y turbiedad.

3. Caracterizar el agua de lavado generado del equipo de ultrafiltración, considerando los parámetros de Coliformes Termotolerantes y huevos de helmintos; se tiene como objetivo evaluar si es apta para riego de áreas verdes y en lugar de disponerlo con efluente industrial se puede reutilizar para riego.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adabju, S. (2013). Specific Moving Bed Biofilm Reactor For Organic Removal from Synthetic Municipal Wastewater. *University of Technology, Sydney Faculty of Engineering*, 1(March,2013), 133.
- AQUA FONDO. (2016). *Estudio de Riesgos Hidricos y Vulnerabilidad del Sector Privado en Lima Metropolitana y Callao en un Contexto de Cambio Climatico*. 157. <https://aquafondo.org.pe/estudio-de-riesgos-hidricos-y-vulnerabilidad-del-sector-privado-en-lima-metropolitana-y-callao-en-un-contexto-de-cambio-climatico/>
- Aquino Espinoza, P. (2017). *Calidad Perú*. 135.
- Autoridad Nacional del Agua-ANA. (2019). *ESTUDIO HIDROGEOLÓGICO DEL ACUÍFERO LURÍN*. 1, 174. <https://hdl.handle.net/20.500.12543/4444>
- Balarezo, K. (2018). “*Evaluación del Sistema Biológico MBBR en la ampliación de capacidad de Tratamiento en PTARI existente para aguas residuales de la Industria de Alimentos*.” 71. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3200>
- Bruckner Maschinenbau. (n.d.). *Requirements for Plant Water*. 1–7.
- CARBOTECNIA. (2019). *¿Qué es la Ultrafiltración?* <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/filtracion-de-agua-liquidos/que-es-la-ultrafiltracion/>
- Chiuyari, J. (2019). *Descripción de actividades para asegurar el control de calidad en las películas plásticas producidas en la Empresa Oppfilm Perú S . A .*

- Diaz Delgado, C. et. a. (2003). *Capítulo 19: LA REUTILIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES*. 212–223.
- DOMOS Agua. (2019). *Recuperación de agua en la industria*. 32.
<https://www.domosagua.com/recursos/reutilizacion-agua-industria>
- Enviromental Hygiene & Safety. (2018). *Actualización de Declaración de Impacto Ambiental (DIA) - Planta Nro 2- OPP Film*.
- Gutiérrez Ruiz, S. (2011). *Desalación de agua de mar mediante Osmosis Inversa . Estudio de los mecanismos de ensuciamiento y limpieza de las Membranas*.
- Illanes Esparza, J. (2004). *Envases flexibles plásticos: Uso y aplicación en la industria alimentaria* (Vol. 0).
- IPES, Ministerio de Vivienda, C. y S., & SWITCH. (2011). Panorama de experiencias de tratamiento y uso de aguas residuales y de agricultura urbana en la ciudad de Lima, Perú. *Sustainable Water Management in the City of the Future*.
http://www.switchurbanwater.eu/outputs/pdfs/W5-2_CLIM_RPT_D5.2.1_Situation_Analysis_-_Annex_3_Lima.pdf
- Jimenez Feliz, S. M. (2017). *Tratamiento terciario mediante UF+OI de aguas depuradas de una PTAR en el proceso industrial de fabricación de concreto para su reutilización*. [Universidad Politecnica de Valencia].
<https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/89427/JIMÉNEZ - Diseño de un tratamiento terciario %28combinación UF %2B OI%29 de aguas depuradas en una EDAR....pdf?sequence=1>
- Laboratorio NSF Inassa. (2019). *Informe de la Calidad de Agua de Efluente de PTAR de Planta 2-OPP Film*. 1–3.
- Laboratorio NSF Inassa. (2020). *Proyecto Ultrafiltración PT2 , agua permeada del EQ UF PT2*. 1–3.

- Laboratorio NSF Inassa. (2021). *Análisis de la Calidad de agua de alimentación y permeado de EQ RO nuevo de PT3*. 1–3.
- Loukidou, M., & Zouboulis, A. (2001). Comparison of two biological treatment processes using attached-growth biomass for sanitary landfill leachate treatment. *Environmental Pollution*, 111, 273281.
- Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI. (2020). *Decreto Supremo No 013-2020-MIDAGRI Aprueba valores de retribuciones económicas a pagar por el uso del agua y por el vertimiento de aguas residuales tratadas a aplicarse el año 2021*. 6–10.
- Ministerio de Salud-MINSA. (2010). *Reglamento de la Calidad del Agua para Consumo Humano DS N ° 031-2010-SA. I*, 45. <http://www.minsa.gob.pe/bvsminsa.asp>
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2009). Aprueban Valores Máximos Admisibles (VMA) de las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. *Diario El Peruano*, 1–3. http://www3.vivienda.gob.pe/direcciones/Documentos/DS_2009_021.pdf
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2016). Resolución Ministerial No 360-2016-VIVIENDA. *El Peruano*, 5.
- Ministerio del Ambiente-MINAM. (2010). Límites Máximos Permisibles para los efluentes de Plantas de tratamiento aguas residuales domésticas o municipales. *Diario El Peruano*, 415675–415676.
- Ministerio del Ambiente-MINAM. (2017). Aprueban Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua y establecen Disposiciones Complementarias. *El Peruano*, 10–19.
- Ministerio del Ambiente-MINAM. (2019). *No Title*. Indicadores Nacionales-Volumen Anual de Vertimiento de Aguas Residuales Industriales Autorizadas. <https://sinia.minam.gob.pe/modsinia/index.php?accion=verIndicador&idElementoInformacion=1615&idformula=172>

- Ministerio del Ambiente. (2009). Tratamiento y Reuso de Aguas Residuales. *Manual Para Municipios Ecoeficientes*, 511, 179.
- Observatorio del Agua Chillón Rímac Lurín (OA CHIRILU). (2019). *Diagnóstico Inicial para el Plan de Gestión de Recursos Hídricos de las cuencas Chillón, Rímac, Lurín y Chilca*. 151.
- Odegaard, H. (1999). *The Moving Bed Biofilm Reactor. Water Environmental Engineering and Reuse of Water* .
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental-OEFA. (2014). Fiscalización ambiental en aguas residuales. *Organismo de Evaluacion y Fiscalizacion Ambiental*, 36. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=7827
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura-FAO. (2013). Afrontar la escasez de agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. In *Informe Sobre Temas Hídricos no. 38*. <http://www.fao.org/3/a-i3015s.pdf>
- Organización Mundial de la Salud-OMS. (1989). Guidelines for the safe use of wastewater and excreta in agriculture and aquaculture: measures for public health protection. *South African Medical Journal*, 101(2003), 20.
- PENTAIR. (2014). *Guía de aplicaciones de ® ultrafiltración freshpoint*.
- PROACC. (2019). *Adaptación al Cambio Climático y Eventos Extremos : Reflexiones sobre el caso de Lima Disponibilidad de RRHH en las Cuencas de Lima*.
- Romero, J. (2010). *Control Avanzado en Procesos Industriales de Microfiltración y Ultrafiltración tangencial*. 1–115. <file:///C:/Users/Fáver/Google Drive/Proyectos activos/Proyecto posgrado/Documentos de referencia/2010. Romero. Control avanzado en procesos de ultrafiltración.pdf>
- Salazar-Larrota, L., Uribe-García, L., Gómez-Torres, L., & Zafra-Mejía, C. (2019). Analysis

of the efficiency of UASB reactors in a municipal wastewater treatment plant. *DYNA (Colombia)*, 86(209), 319–326. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n209.70332>

SALHER. (2016). *PROYECTO AMPLIACION CC PLAZA SAN MIGUEL*.

San Diego County Water Authority. (2019). *No Title*. Agua Reciclada. <https://www.sdcwa.org/es/agua-reciclada>

Schmidt, T., & Schaechter, M. (2011). Topic in ecological and environmental microbiology. *Academic Press, 3rd ed.*

THOMSON REUTERS WESTLAW. (n.d.). *California Code of Regulations*. [https://govt.westlaw.com/calregs/Browse/Home/California/CaliforniaCodeofRegulations?guid=IE6E81020D4B911DE8879F88E8B0DAAAE&originationContext=documenttoc&transitionType=Default&contextData=\(sc.Default\)](https://govt.westlaw.com/calregs/Browse/Home/California/CaliforniaCodeofRegulations?guid=IE6E81020D4B911DE8879F88E8B0DAAAE&originationContext=documenttoc&transitionType=Default&contextData=(sc.Default))

Toray. (2017). *Toray case study , Owens Illinois*. 1–2.

TOTAGUA Waste Waste Solutions. (2019). *Tecnologías de Ultrafiltración*. 6. <http://www.totagua.com/>

UNI (Universidad Nacional de Ingeniería). (2018). *Implementación de una planta piloto para el tratamiento de agua por osmosis inversa*.

Union de Cervecerías Peruanas Backus y Jhonston S.A.A. (2018). *Informe Técnico Sustentario para el proyecto “Reúso de agua residual de la PTAR”* (p. 17).

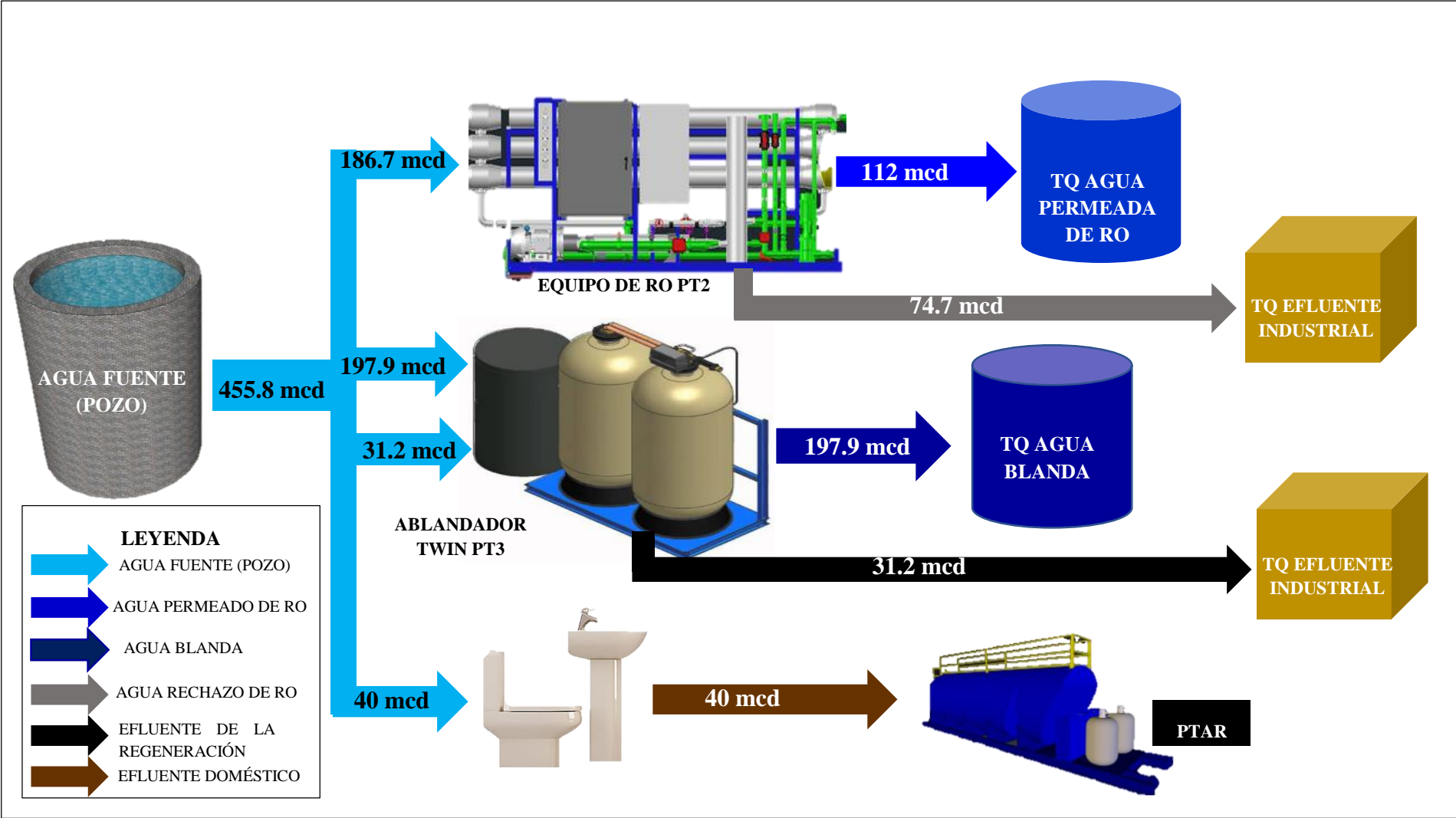
WET Chemical. (2017). *Presentación de WET Chemical*.

WET Chemical Peru. (2020). *Dossier de Calidad del Equipo de Ultrafiltración 80 MCD-Planta 2 OPP Film* (p. 50).

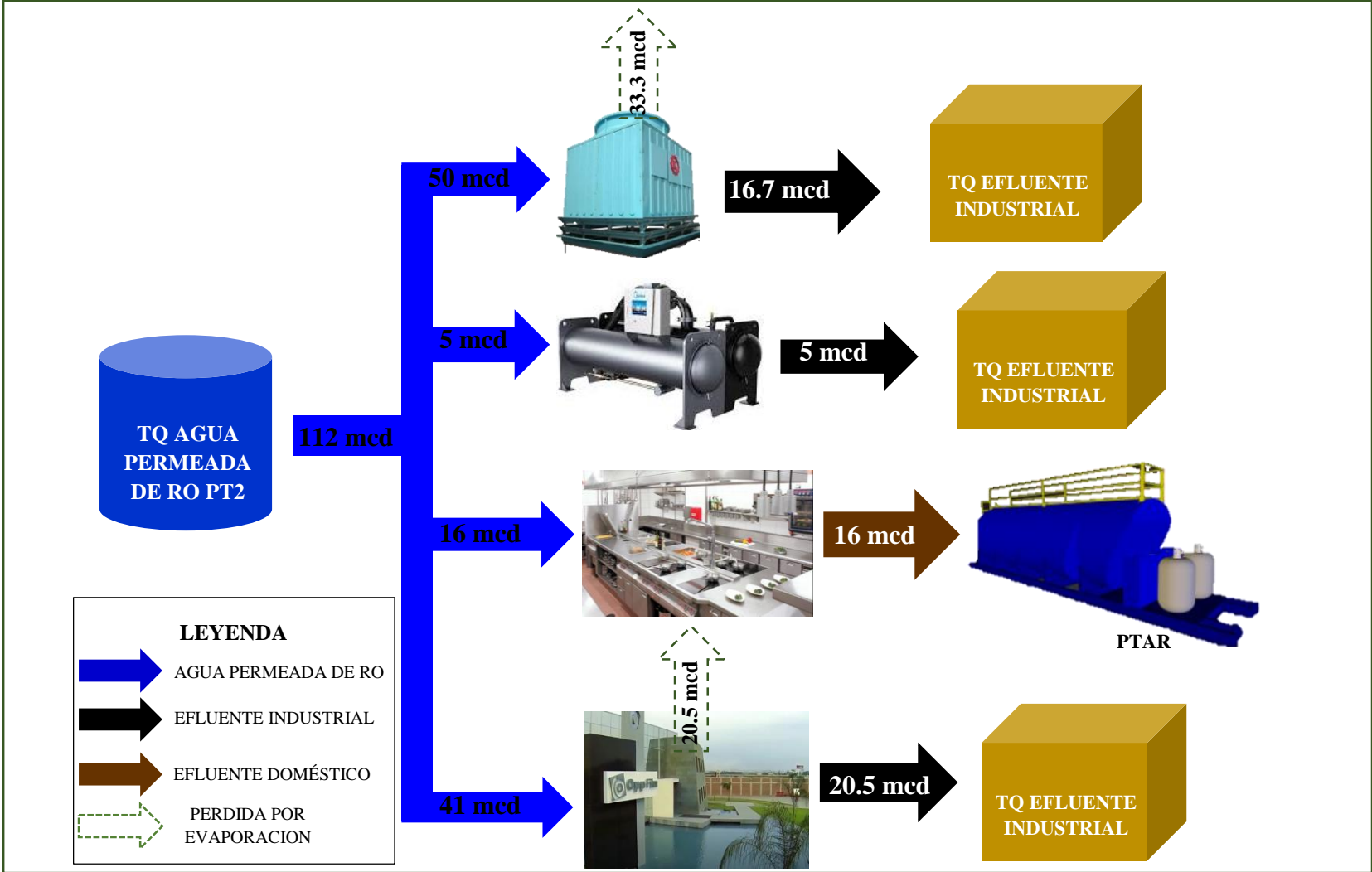
WET Chemical Peru. (2021). *Organigrama 2021*.

IX. ANEXOS

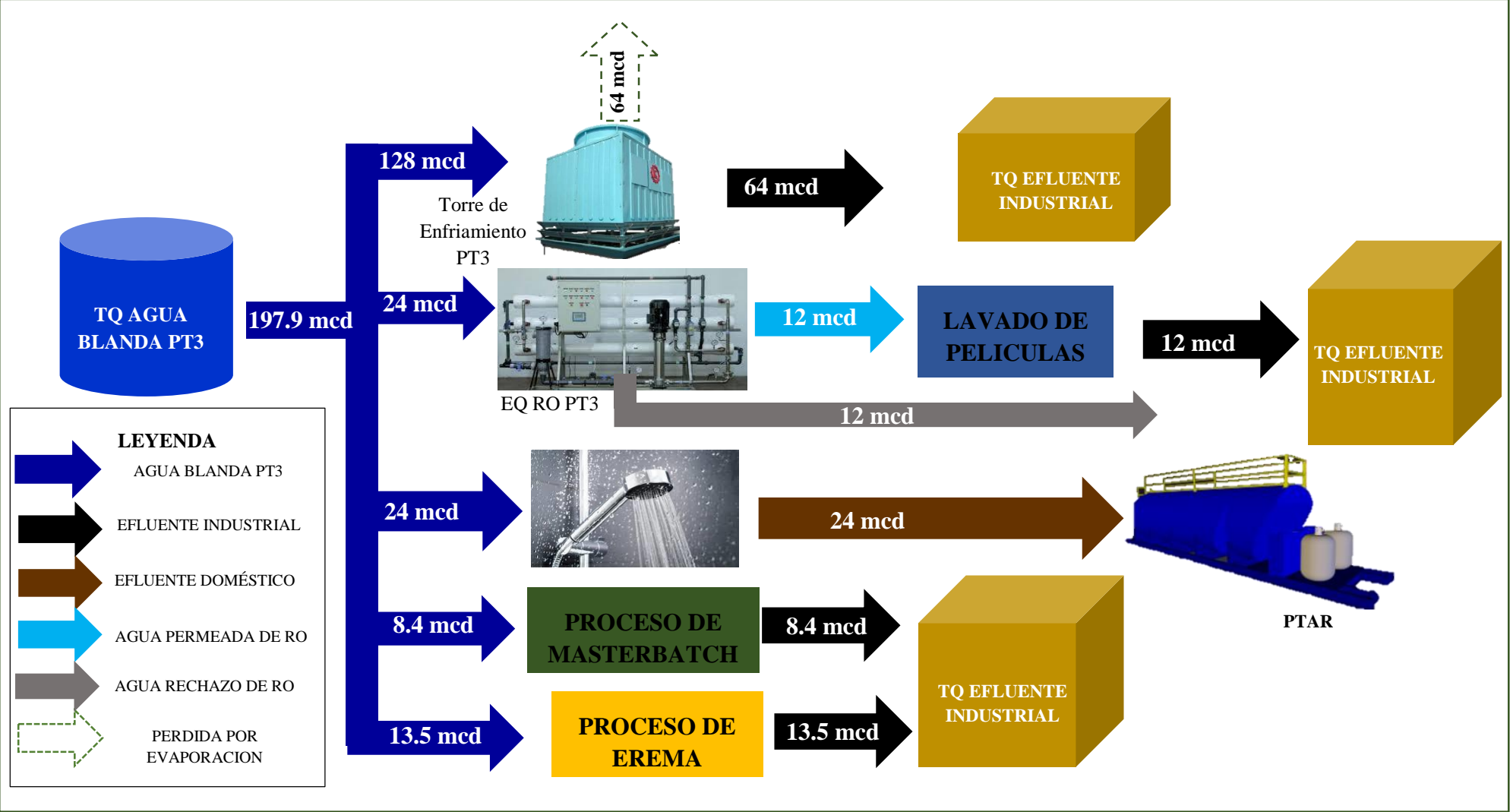
Anexo 1: Balance de agua y distribución de agua fuente de la situación antes del Proyecto en Planta 2 y 3



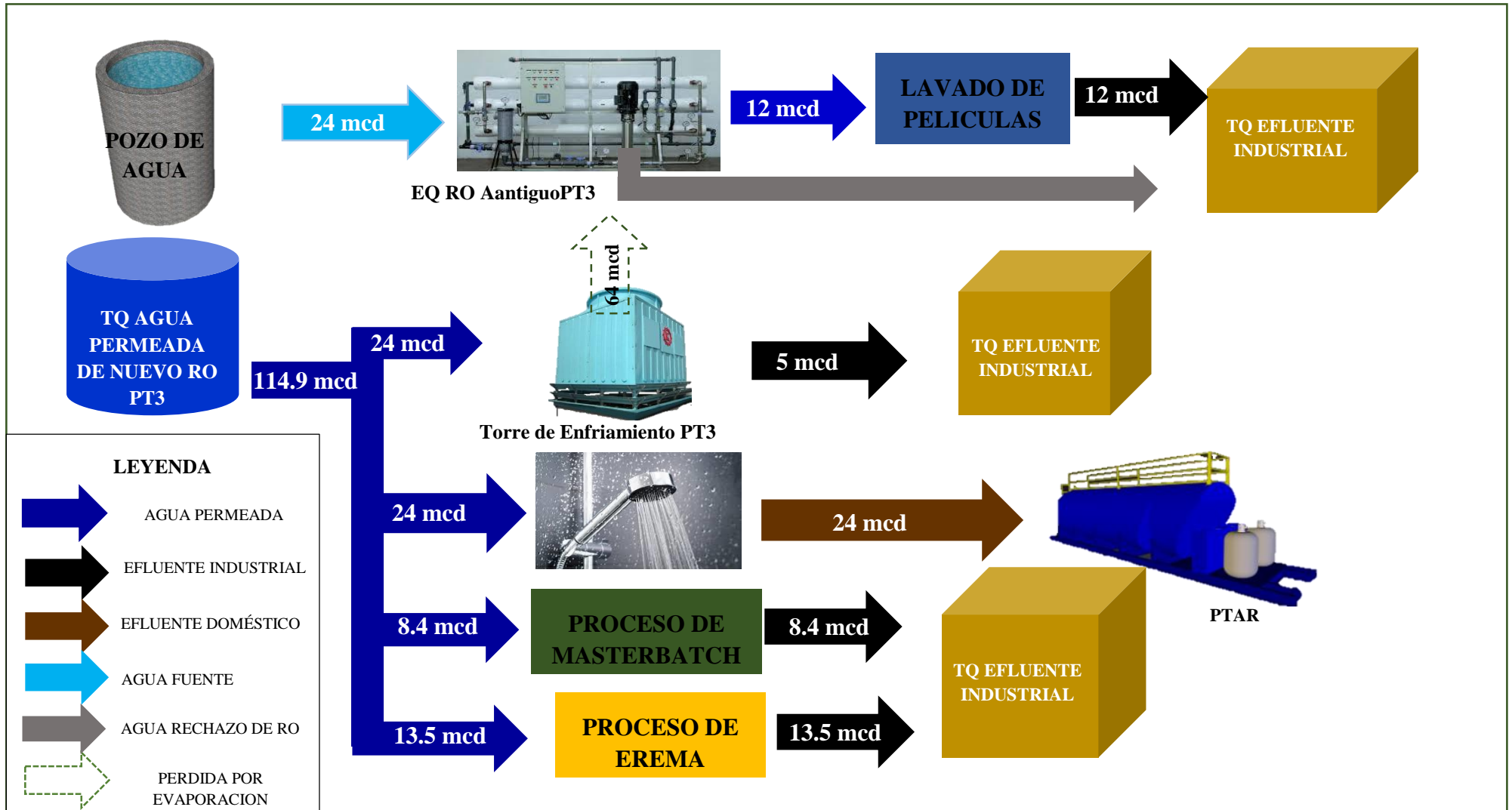
Anexo 2: Balance de agua y distribución del agua permeada de Planta 2 en la condición inicial



Anexo 3: Balance de agua y distribución del agua blanda de Planta 3 en la condición inicial



Anexo 4: Balance y distribución del agua con la implementación de un Equipo de Osmosis nuevo en PT3



Anexo 5: Resultado de la corrida para el diseño del Ultrafiltración



Projection Tool for PVDF Hollow Fiber Membrane Module "HF-Series"

Contact Us

User Name: Hildebrando
E-mail Address: hildebrando@wetchemicalperu.com

Calculation				Download	Upload	Change Unit
Project						
Project Name			OPPFILM			
Product Water	m ³ /day		80.00			
Water Category			Waste Water ▼			
Coagulant			With Coagulant ▼			
Toray Maintenance Cleaning (TMC)			Without TMC ▼			
UF Feed Info						
Feed nominal max. Turbidity (0-30)	NTU		0.000			
Feed peak max. Turbidity (0-100)	NTU		0.000			
Feed nominal max. TSS (0-30)	mg/L		18.000			
Feed peak max. TSS (0-100)	mg/L		25.000			
Feed max. Color	deg		0.000			
Feed max. Fe	mg/L		0.266			
Feed max. Mn (0-0.05)	mg/L		0.050			
Feed max. TOC	mg/L		0.000			
Feed max. COD	mg/L		80.000			
Feed max. UV260	abs/cm		0.000			
Feed max. NH ₄ ⁺	mg/L		5.160			
Feed max. Oil & Grease (0-1)	mg/L		1.000			
Feed Water min. Temp. (0-40)	deg C		25.00			
Water Cleanness			Dirty			

«continuación»

Configuration Info			
Module Type			HFU-2020series ▼
Membrane Area	m ²		72
Total Number of Trains (Without Standby Trains for CIP)			1
Filtration (15-60)	min		30.00
CIP Frequency Factor (0.5-2.0)			1.000
<input type="button" value="Calculation"/> <input type="button" value="Download"/> <input type="button" value="Upload"/> <input type="button" value="Change Unit"/>			
Operation Conditions			
Instantaneous Filtration Flux	m ³ /m ² /day		1.323
Filtration Flowrate per one Module	m ³ /day		95.287
Backwash Flux	m ³ /m ² /day		1.456
Scrubbing Air Flow Rate per one Module	NL/min		100
Backwash Chlorine	mg/L as Cl ₂		50
TMC Chlorine	mg/L as Cl ₂		0
Duration			
Filtration	min		30.00
Backwash with Air	min		0.00
Backwash	min		1.00
Air Scrubbing	min		1.00
Drain	min		0.75
Refill	min		0.92
Control Loss	min		0.75
Total	min		34.42
TMC Time	min		0.00
TMC Pre-backwash	min		0.00
TMC Backwash	min		0.00
Filtration Cycle	cycles/day		41.83
CIP Frequency	times/year		12

«continuación»

Capacity			
Minimum Number of Modules per Train			1
Total Number of Modules (Include Standby Trains if Need be)			1
Filtrated Water	m ³ /day		83.04
Backwash Water	m ³ /day		3.04
TMC Water	m ³ /day		0.00
Total Drainage	m ³ /day		5.60
Feed Water	m ³ /day		85.60
Product Water	m ³ /day		80.00
Recovery	%		93.46
Net Flux	m ³ /m ² /day		1.111


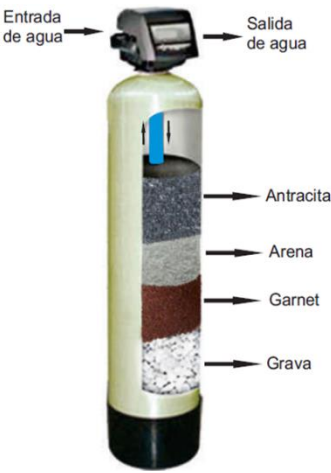
Flow Diagram			
8: Filtrated Water	m ³ /day		83.04
7a: Backwash Water	m ³ /day		3.04
7b: TMC Water	m ³ /day		0.00
5: Drainage	m ³ /day		2.09
12: BW Drainage + Feed Overflow	m ³ /day		3.51
5+12: Total Drainage	m ³ /day		5.60
1: Feed Water	m ³ /day		85.60
11: Product Water	m ³ /day		80.00
Recovery	%		93.46

Anexo 7: Especificaciones técnicas de los componentes del Equipo de Ultrafiltración




El sistema de Ultrafiltración se compone de los siguientes Skid:

- Skid de Pretratamiento
- Skid de Membranas
- Skid de limpieza
- Tablero eléctrico

- Skid de pretratamiento

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
<p>BOMBA DE ALIMENTACIÓN</p> 	<p style="text-align: center;"><i>Bomba de Alimentación al Sistema</i></p> <p>Modelo: PLUIRET 4/200-N Marca: Pedrollo <i>Q</i> flujo: 5-200 l/min Tipo de motor: trifásico, 220/440 V Potencia: 1.5 kW, 2 HP Frecuencia de red: 60 Hz Cantidad: 02 und</p>
<p>FILTRO MULTIMEDIA & VÁLVULA AUTOMÁTICA</p> 	<p style="text-align: center;"><i>Filtro Multimedia (FMM) Automático para remoción de SST/Turbidez</i></p> <p>Capacidad: 5pies³ Modelo: MM-273/742-5.0 Tanque FRP: 18" x 65", incluye tapa Media Filtrante : - Antracita 1.0 MM - Arena de cuarzo de 1.0 MM - Arena de cuarzo 0.5 MM - Garnet # 8-12 - Grava de cuarzo #1/2" x 1/4" - Grava de cuarzo #1/8" x 1/16" Cantidad: 01 und</p> <p style="text-align: center;"><i>Válvula Performa CV p/ MM 273/742 x Tiempo</i></p> <p>Modelo: 273/742 Marca: Pentair Switch auxiliar side 5 AMP Logix /Performa CV Cantidad: 01 und</p>

«continuación»



<p style="text-align: center;">FILTRO DE CARBON ACTIVADO & VÁLVULA AUTOMÁTICA</p> 	<p style="text-align: center;">Filtro de Carbón Activado (FGAC)</p> <p><i>Capacidad: 5pies3</i> <i>Modelo: GAC-273/742-5.0</i> <i>Tanque FRP: 18" x 65", incluye tapa</i> <i>Media Filtrante :</i> <ul style="list-style-type: none"> - Carbón activado - Grava de cuarzo #1/2" x 1/4" - Grava de cuarzo #1/8" x 1/16" <i>Cantidad: 01 und</i></p> <p style="text-align: center;">Válvula Performa CV p/ GAC 273/742 x Tiempo</p> <p><i>Modelo: 273/742</i> <i>Marca: Pentair</i> <i>Switch auxiliar side 5 AMP Logix /Performa CV</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>
<p style="text-align: center;">EQUIPO ULTRAVIOLETA (UV)</p> 	<p style="text-align: center;">Equipo Ultravioleta (UV)</p> <p><i>Modelo: VP600/2</i> <i>Marca: VIQUA</i> <i>Flujo: 24 GPM</i> <i>Presión máxima de trabajo: 125 psi</i> <i>Temperatura del agua : 2-40 °C</i> <i>Conexión: 1" MNPT</i> <i>Alimentación: 100-240V 50/60 Hz</i> <i>Modelo de Lámpara: S600RL-HO</i> <i>Modelo de Cuarzo: QSO-600</i></p>
<p style="text-align: center;">MANÓMETROS</p> 	<p style="text-align: center;">Manómetros- medir la presión</p> <p><i>Diámetro: 2.5"</i> <i>Marca: Nuova Fima</i> <i>Rango: 0-100 psi</i> <i>Líquido interno: Glicerina</i> <i>Conexión: inferior de 1/4" NPT</i> <i>Ubicación en Plano: P11,PI2,PI3,PI4,PI5</i></p>

- Skid de membranas

Las membranas usadas en los módulos de WET, son del tipo fibra hueca fabricadas de fluoruro de polivinilideno (PVDF). El permeado fluye desde el exterior al interior de la fibra, atravesando sus paredes y de manera que la suciedad queda retenida en las paredes externas de la misma.

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
<p data-bbox="309 842 576 931">MEMBRANA DE UF</p> 	<i>Membranas de Ultrafiltración (UF)</i>
	<p><i>Modelo:</i> HFU 2020N</p> <p><i>Marca:</i> Toray</p> <p><i>Modo de Filtración:</i> Presurizado</p> <p><i>Tipo de membrana:</i> Ultrafiltración</p> <p><i>Material de membrana:</i> PVDF (fluoruro de polivinilideno)</p> <p><i>Tamaño nominal del poro:</i> 0.01 micron</p> <p><i>Área de membrana:</i> 72 m²</p> <p><i>Flujo de diseño:</i> 8.0-2.6 m³/hr</p> <p><i>Max. Presión de alimentación:</i> 3 bar</p> <p><i>Operación de rango de pH de alimentación:</i> 1-10</p> <p><i>Longitud:</i> 2160 mm</p> <p><i>Díámetro del módulo:</i> 216 mm</p> <p><i>Conexión de salida de filtrado:</i> 80A</p> <p><i>Conexión de salida de aire:</i> 65A</p> <p><i>Conexión de agua bruta/entrada de aire:</i> 80A</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p>

«continuación»

<h1>FLUJÓMETRO</h1> 	Flujómetro - medición de flujo de permeado
	<p><i>Rango:</i> 2-20 GPM</p> <p><i>Tipo:</i> en línea</p> <p><i>Conexión:</i> 1 1/2" MNPT</p> <p><i>Marca:</i> HIDRONIX</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p>
	Flujómetro - medición de flujo de rechazo
	<p><i>Rango:</i> 2-20 GPM</p> <p><i>Tipo:</i> en línea</p> <p><i>Conexión:</i> 1" MNPT</p> <p><i>Modelo:</i> Z-4004</p> <p><i>Marca:</i> LZT</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p>
<h1>VÁLVULAS</h1> 	Válvula con actuador neumático
	<p><i>Tipo:</i> Válvula bola 3PC</p> <p><i>Medida:</i> 1" NPT</p> <p><i>Material:</i> Cuerpo de Acero Inox SS 316</p> <p><i>Con actuador neumático doble efecto</i></p> <p><i>Modelo:</i> KH-52</p> <p><i>Marca:</i> Kuhner</p> <p><i>Cantidad:</i> 06 und</p>
	Válvula Solenoide
	<p><i>Tipo:</i> Válvula solenoide</p> <p><i>Medida:</i> 3/8" NPT</p> <p><i>Material:</i> Cuerpo de bronce</p> <p><i>Presión de trabajo:</i> 0.2 a 10 bar</p> <p><i>Alimentación:</i> NC 24 VDC</p> <p><i>Marca:</i> Danfoss</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p>
	Válvula reductora de presión
<p><i>Tipo:</i> válvula reductora de presión acción directa</p> <p><i>Medida:</i> 1" NPT</p> <p><i>Material:</i> Cuerpo de bronce cromado</p> <p><i>Presión máxima:</i> 25 bar</p> <p><i>Presión de trabajo:</i> 15 a 90 psi</p> <p><i>Marca:</i> ITAP</p> <p><i>Cantidad:</i> 02 und</p>	

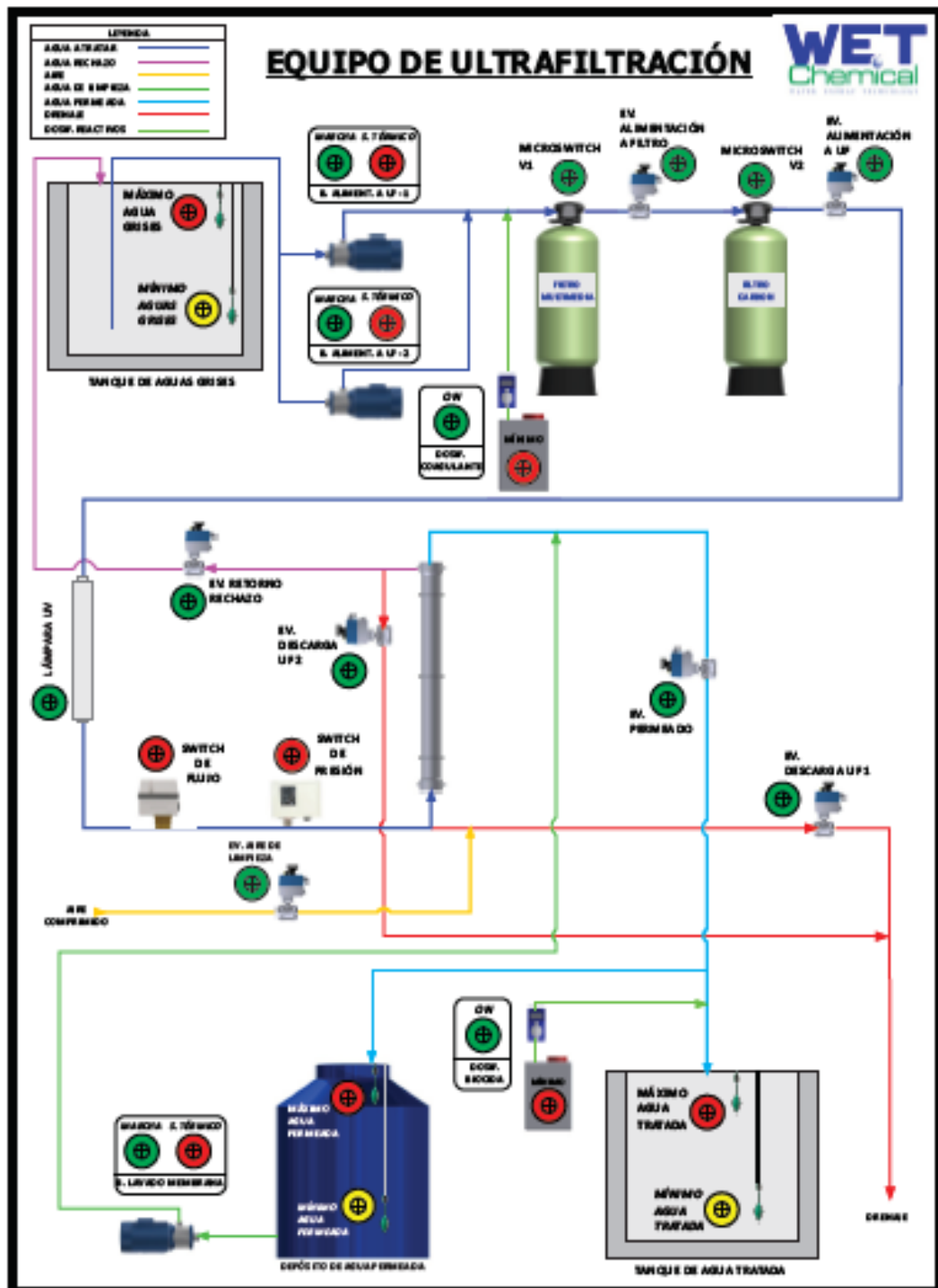
- Skid de limpieza y dosificación

COMPONENTE	DESCRIPCIÓN
<p style="text-align: center;">BOMBA PARA LIMPIEZA</p> 	<p style="text-align: center;"><i>Bomba para Limpieza</i></p> <p>Modelo: PLUJIRET 3/200-N Marca: Pedrollo <i>Q flujo:</i> 5-200 l/min <i>Tipo de motor:</i> trifásico, 220/440 V <i>Potencia:</i> 1.1 kW, 1.5 HP <i>Frecuencia de red:</i> 60 Hz <i>Cantidad:</i> 01 und</p>
<p style="text-align: center;">TANQUE DE POLIETILENO</p> 	<p style="text-align: center;"><i>Tanque para Dosificación de Producto Químico</i></p> <p>Modelo: TCT-100 Marca: Acquatron <i>Capacidad:</i> 100 L <i>Material:</i> Polietileno media densidad <i>Color:</i> Blanco natural <i>Cantidad:</i> 2 und</p>
<p style="text-align: center;">BOMBA DOSIFICADORA</p> 	<p style="text-align: center;"><i>Bomba dosificadora para Productos químicos</i></p> <p>Modelo: F1-MA 03/07 Marca: Acquatron <i>Caudal máximo:</i> 03 l/hr <i>Presión:</i> 7 Bar <i>Monofásico:</i> 50/60 Hz <i>Alimentación:</i> 220 V <i>Cantidad:</i> 2 und</p>
<p style="text-align: center;">MANÓMETROS</p>	<p style="text-align: center;"><i>Manómetros</i></p> <p><i>Diámetro:</i> 2.5" Marca: Nuova Fima <i>Rango:</i> 0-60 psi <i>Líquido interno:</i> Glicerina <i>Conexión:</i> inferior de 1/4" NPT <i>Ubicación en plano:</i> PI6, PI7, PI8 <i>Cantidad:</i> 3 und</p>

- Tablero eléctrico

COMPONENTE	DESCRIPCION
TABLERO ELÉCTRICO	<i>Fuente de Alimentación</i> <i>Gabinete Mural AE. 1200 X 800 X 300 MM</i> <i>Pantalla HMI Táctil LCD TFT 7"</i> <i>Botón Parada de Emergencia Rojo</i> <i>Variador Trifásico</i> <i>Guardamotor Termomagnético</i> <i>Interruptor Termomagnético</i> <i>Contactador de Fuerza</i> <i>Modulo PLC</i> <i>Controlador CPU</i> <i>Portafusible</i> <i>Switch Ethernet</i> <i>Toma Corriente</i> <i>Web Server Modulo</i>

Anexo 8: Diagrama del sistema de Ultrafiltración PT2-OPP Film, ubicado en Panel del tablero eléctrico



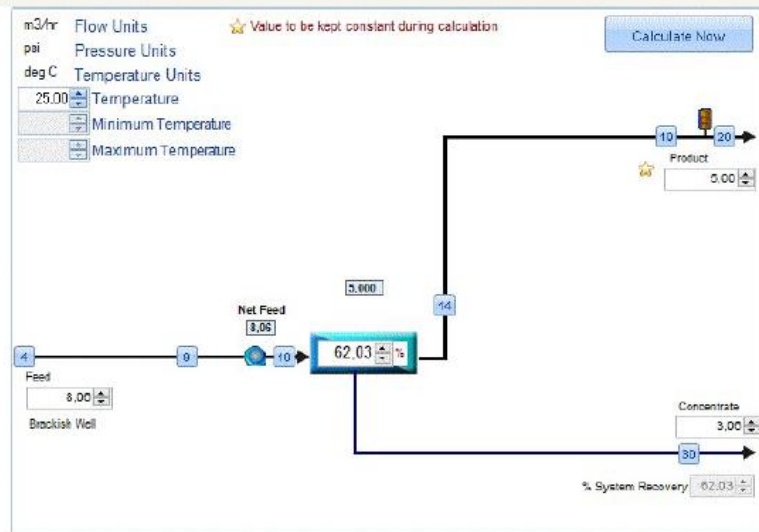
Anexo 9: Resultado de la corrida para el diseño del Osmosis Inversa



Short Report	
Project	Hildebrando-PC\Hildebrando 147:OPPFILM PLANTA 3
Case	1 NUEVA PLANTA RO-PT3
Revision	0 T=25.0 deg C, Recov=62.0%, FF(Elem1)=0.85, SP(Elem1)=0.10, Brackish Well, Feed: 8.1 m3/hr, TDS: 2512.5, Perm: 5.0, TDS: 13, Tot Elem: 6, 1st Elem: TM720D-400
Feed Water Type	Brackish Well, Note: Auto Balance is OFF
Toray DS2	2.1.1.145 (DB.v2.6)
Membrane DB	20148

		Pass 1	Total
Raw water TDS	mg/l	2,512.5	2,512.55
Product TDS	mg/l	12.854	38.08
Temperature	deg C	25.00	
Feed Pressure	psi	149.8	
Brine Pressure	psi	144.3	
Total DP	psi	5.536	
Feed Flow	m3/hr	8.060	
Product Flow	m3/hr	5.000	
Recovery	%	62.0%	
Concentrate Flow	m3/hr	3.060	
Fouling Max	3.00 yrs	0.848	
SP % Increase (Max)	3.00 yrs	33.10%	
Average Flux	l/m2/hr	22.34	

Flow Diagram:



«continuación»

Pass 1

Stage/Bank Data	Units	Stage 1	Stage 2
Element Type		TM720D-400(3)	TM720D-400(3)
Total Elements	pcs	3	3
Total Vessels	pcs	1	1
Elements per Vessel	pcs	3	3
Product Flow	m3/hr	2.767	2.233
Average Flux	l/m2/hr	24.73	19.956
Recovery	%	34.3%	42.2%
Feed Pressure	psi	149.8	146.1
Boost Pressure	psi	0.0	0.0
Piping Loss	psi	0.0	0.0
Permeate Pressure	psi	0.0	0.0
Permeate TDS	mg/l	8.0	18.8
Lead Element		Stage 1	Stage 2
Lead Element	m3/hr	8.060	5.293
Elem Flux	l/m2/hr	25.90	21.96
Last Element		Stage 1	Stage 2
Brine Flow	m3/hr	5.293	3.060

Ions		Feed	Net Feed	Conc	Product
Ca	mg/l	225.6	225.6	593.4	0.552
Mg	mg/l	62.40	62.40	164.1	0.153
Na	mg/l	504.9	504.9	1.325	10.256
K	mg/l	3.600	3.600	9.423	0.0361
Ba	mg/l	0.03	0.03	0.0789	7.34E-05
Sr	mg/l	1.916	1.916	5.040	0.0047
NH4	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0
Fe	mg/l	0.150	0.150	0.395	0.0
HCO3	mg/l	280.4	280.4	730.7	20.82
CO3	mg/l	0.730	0.730	4.474	0.0163
CO2	mg/l	15.246	15.246	16.249	2.160
Cl	mg/l	639.0	639.0	1.677	3.742
Cl (Front/Rear)	mg/l	639.0	639.0	1.677	1.739 / 7.859
SO4	mg/l	760.0	760.0	1.999	1.923
NO3	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0
F	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0
Br	mg/l	0.0	0.0	0.0	0.0
PO4	mg/l	0.120	0.120	0.316	0.0001
SiO2	mg/l	33.30	33.30	87.08	0.381
B(Boron)	mg/l	0.310	0.310	0.500	0.194
B(Boron Front/Rear)	mg/l	0.310	0.310	0.500	0.148 / 0.265
TDS	mg/l	2.513	2.513	6.596	38.08
Feed EC @25C / @25.00C	uS	3.913 / 3.913	3.913 / 3.913	9.112 / 9.112	63.1 / 63.1
pH		7.400	7.400	7.750	7.200
LSI / SDSI		0.53 / 0.56	0.53 / 0.56	1.57 / 1.42	-3.04 / -3.12
CaSO4 / SrSO4 %	%	23.6% / 11.5%	23.6% / 11.5%	82.2% / 35.5%	0.0% / 0.0%
BaSO4 / SiO2 %	%	292.9% / 26.6%	292.9% / 26.6%	903.2% / 71.1%	0.0% / 0.3%

Anexo 10: Especificaciones técnicas de los componentes del Equipo de Osmosis Inversa nuevo de PT3



El sistema de Osmosis Inversa se compone de los siguientes Skid:

- Skid de Pretratamiento
- Skid de Membranas
- Skid de limpieza -CIP
- Tablero eléctrico



- Skid de Pretratamiento

COMPONENTE	DESCRIPCION
<p style="text-align: center;">BOMBA DE ALIMENTACIÓN</p> 	<p style="text-align: center;">Bomba de Alimentación al Sistema</p> <p>Modelo: CM10-2 A-R-A-E-AQQE O-A-A-N Marca: Grundfos Tipo: Centrífuga, Multietapa y Horizontal <i>Q</i> real calculado: 10.21 MCH <i>Q</i> real nominal: 12 MCH Presión de Trabajo máximo: 10 Bar Potencia nominal: 2.2 Kw Frecuencia de red: 60 Hz; adecuado para 50/60 Hz Fases: 3 Tensión nominal: 220-255D/380-440Y V Cantidad: 02 und</p>
<p style="text-align: center;">FILTRO MULTIMEDIA DE 10 PIES3</p> 	<p style="text-align: center;">Filtro Multimedia (FMM) Automático para remoción de SST/Turbidez/SDI</p> <p>Capacidad: 10 pies3 Modelo: MM-293/72-10.0 Tanque FRP: 24" x 72", incluye tapa</p> <p>Media Filtrante :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Antracita 1.0 MM - Arena de cuarzo de 1.0 MM (1/32") - Arena de cuarzo 0.5 MM - Garnet # 8-12 - Garnet # 30-40 - Grava de cuarzo #3/4" x 1/2" - Grava de cuarzo #1/2" x 1/4" - Grava de cuarzo #1/8" x 1/16" <p>Cantidad: 01 und</p>



«continuación»

<p>VÁLVULA AUTOMÁTICA MAGNUM</p> 	<p><i>Válvula Magnum IT 293/742 x Tiempo</i></p> <p><i>Modelo: 293/742</i> <i>Marca: Pentair</i> <i>Switch auxiliar de válvula Magnum IT 5AMP</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>
<p>MANÓMETROS</p> 	<p><i>Manómetros para medir presión de ingreso al FMM</i></p> <p><i>Diámetro: 2.5"</i> <i>Marca: Nuova Fima</i> <i>Rango: 0-160 psi/0-10 Bar</i> <i>Líquido interno: Glicerina</i> <i>Conexión: inferior de 1/4" NPT</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>
<p>CONEXIONES</p>	<p>Tuberías y válvulas de PVC de SCH 80</p>




- Skid de Membranas y Limpieza (CIP)

COMPONENTE	DESCRIPCION
<p>PORTAFILTRO</p> 	<p><i>Portafiltro (contiene filtro para sedimentos)</i></p> <p><i>Modelo: BBH-150</i> <i>Marca: WATTS</i> <i>Numero de Filtros: 1 und</i> <i>Máxima presión: 125 psi</i> <i>Máxima temperatura: 52°C</i> <i>Tamaño de tubería: brida de 2"</i> <i>Material: polipropileno reforzado con fibra de vidrio</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>
<p>FILTRO DE SEDIMENTO</p> 	<p><i>Filtro plisado de 1 mic</i></p> <p><i>Modelo: BBC-150-P1</i> <i>Marca: WATTS</i> <i>Material: polipropileno</i> <i>Micras: 1 mic</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>


«continuación»

<p>BOMBA DE ALTA PRESIÓN</p> 	<p><i>Bomba de alta presión- alimentación a Portamembranas</i></p> <p><i>Modelo:</i> CR 10-8 A-FJ-A-E-HQQE 3X266/460 60</p> <p><i>Marca:</i> Grundfos</p> <p><i>Tipo:</i> Centrifuga, Multietapa y Vertical</p> <p><i>Q real nominal:</i> 12.1 MCH</p> <p><i>Presión de Trabajo máximo:</i> 16 Bar</p> <p><i>Tamaño de la conexión de entrada:</i> DN 40</p> <p><i>Tamaño de la conexión de salida:</i> DN 40</p> <p><i>Potencia nominal:</i> 5.5 Kw</p> <p><i>Frecuencia de red:</i> 60 Hz</p> <p><i>Etapas:</i> 8; <i>Impulsores:</i> 8</p> <p><i>Tensión nominal:</i> 3 x 220-277D/380-480Y V</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p>
<p>PORTAMEMBRANAS</p> 	<p><i>Portamembranas - contienen a las membranas de RO</i></p> <p><i>Modelo:</i> PRO 8-300 SP-3</p> <p><i>Marc:</i> Protec Arisawa</p> <p><i>Presión máxima de operación:</i> 300 psi</p> <p><i>Cantidad de membranas/portamembranas:</i> 3 und</p> <p><i>Cantidad:</i> 02 und</p>
<p>MEMBRANAS DE OSMOSIS INVERSA (OI)</p> 	<p><i>Membranas de Osmosis Inversa (OI)</i></p> <p><i>Dimensiones:</i> 8" x 40"</p> <p><i>Modelo:</i> TM720D-400</p> <p><i>Marca:</i> Toray</p> <p><i>Cantidad:</i> 06 und</p>
<p>FLUJÓMETRO</p> 	<p><i>Flujómetro - medición de flujo de agua de alimentación</i></p> <p><i>Rango:</i> 20-100 GPM</p> <p><i>Tipo:</i> en línea</p> <p><i>Conexión:</i> 2" MNPT</p> <p><i>Modelo:</i> Z-4007</p> <p><i>Marca:</i> LZT</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p> <hr/> <p><i>Flujómetro - medición de flujo de permeado</i></p> <p><i>Rango:</i> 6-60 GPM</p> <p><i>Tipo:</i> en línea</p> <p><i>Conexión:</i> 1 1/2" MNPT</p> <p><i>Marca:</i> LZT</p> <p><i>Cantidad:</i> 01 und</p>



«continuación»

	<p>Flujómetro - medición de flujo de rechazo</p> <p>Rango: 2-20 GPM Tipo: en línea Conexión: 1" MNPT Modelo: Z-4004 Marca: LZT Cantidad: 01 und</p>
<p>TRANSMISOR DE PRESIÓN</p> 	<p>Transmisor de baja presión</p> <p>Rango: 0-10 Bar Output: 4 a 20 mA Marca: Danfoss Cantidad: 01 und</p> <p>Transmisor de alta presión</p> <p>Rango: 0-25 Bar Output: 4 a 20 mA Marca: Danfoss Cantidad: 01 und</p>
<p>SENSOR DE FLUJO</p> 	<p>Sensor de Flujo Electromagnético (Ingreso alimentación y Salida permeado)</p> <p>Modelo de cabezal: 3-2551-P0-12 Marca: George Fischer - GF Rango operación: 0.05 a 10 m/s Máxima presión de funcionamiento: 10.3 bar a 25°C Potencia requerida: 4 a 20 mA Cantidad: 02 und</p>
<p>MANÓMETRO</p> 	<p>Manómetros - medición de presión de entrada y salida de Filtro sedimentos</p> <p>Diámetro: 2.5" Marca: Nuova Fima Rango: 0-160 psi/0-10 Bar Líquido interno: Glicerina Conexión: inferior de 1/4" NPT Cantidad: 02 und</p>

«continuación»

	<p align="center">Manómetros - medición de presión antes de portamembrana</p>
	<p><i>Diámetro: 2.5"</i> <i>Marca: Nuova Fima</i> <i>Rango: 0-400 psi</i> <i>Líquido interno: Glicerina</i> <i>Conexión: inferior de 1/4" NPT</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>
	<p align="center">Manómetros - medición de presión al ingreso y salida de 2da etapa</p>
	<p><i>Diámetro: 2.5"</i> <i>Marca: Nuova Fima</i> <i>Rango: 0-300 psi</i> <i>Líquido interno: Glicerina</i> <i>Conexión: inferior de 1/4" NPT</i> <i>Cantidad: 02 und</i></p>
	<p align="center">Manómetros - medición de presión antes del Filtro de Polipropileno (sistema CIP)</p>
	<p><i>Diámetro: 2.5"</i> <i>Marca: Nuova Fima</i> <i>Rango: 0-160 psi</i> <i>Líquido interno: Glicerina</i> <i>Conexión: inferior de 1/4" NPT</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>
<p align="center">VÁLVULA CON ACTUACION ELÉCTRICA</p> 	<p align="center">Válvula Solenoide para Permeado</p>
	<p><i>Tipo: Válvula Solenoide 3PC</i> <i>Medida: 1/2" NPT</i> <i>Material: Cuerpo de Acero Inox. SS 316</i> <i>Presión de Trabajo: 10 bar</i> <i>Tipo de funcionamiento: Normalmente Cerrado (N/C)</i> <i>Voltaje: 24 VDC</i> <i>Marca: Danfoss</i> <i>Cantidad: 01 und</i></p>

«continuación»

	Válvula con actuador eléctrico para Rechazo
	<p><i>Tipo:</i> Válvula bola 3PC <i>Medida:</i> 1" NPT <i>Material:</i> Cuerpo de Acero Inox. SS 316 <i>Con actuador eléctrico ON-OFF 220 VAC</i> <i>Marca:</i> Genebre <i>Cantidad:</i> 01 und</p>
	Válvula con actuador eléctrico para Flushing (CIP)
	<p><i>Tipo:</i> Válvula bola 3PC <i>Medida:</i> 1 1/2" NPT <i>Material:</i> Cuerpo de Acero Inox. SS 316 <i>Con actuador eléctrico ON-OFF 220 Vac</i> <i>Marca:</i> Kuhner <i>Cantidad:</i> 01 und</p>
TANQUE DE ALMACENAMIENTO CIP	Deposito Dosificador para almacenamiento de agua permeado para el Flushing (CIP)
	<p><i>Capacidad:</i> 200 L <i>Material:</i> Polietileno media densidad <i>Color:</i> Blanco natural <i>Cantidad:</i> 01 und</p>
BOMBA DE ALIMENTACIÓN - SISTEMA CIP	Bomba de Alimentación al Tanque CIP
	<p><i>Modelo:</i> CM 5-5 A-S-G-V-AQQVE-A-A-N <i>Marca:</i> Grundfos <i>Tipo:</i> Centrífuga, Multietapa y Horizontal <i>Q real nominal:</i> 5.64 MCH <i>Presión de Trabajo máximo:</i> 16 Bar <i>Potencia nominal:</i> 2.5 Kw <i>Frecuencia de red:</i> 60 Hz; No adecuado para 50/60 Hz <i>Cantidad:</i> 01 und</p>
PORTAFILTRO - CIP	Portafiltro de Polipropileno de 4.5" x 20" c/ purga
	<p><i>Modelo:</i> HF45-20BLBK15PR <i>Marca:</i> Hydronix <i>Material:</i> Polipropileno <i>Conexión:</i> 1 1/2" <i>Numero de Filtros:</i> 1 und <i>Cantidad:</i> 01 und</p>

«continuación»

FILTRO DE SEDIMENTO - CIP	<i>Filtro de sedimento de 5 micra</i>
	<i>Dimensiones: 4.5" x 20" de 5 micra</i> <i>Modelo: SDC 45-2005</i> <i>Marca: Hydronix</i> <i>Cantidad: 01 und</i>

Anexo 11: Resultados de la caracterización del agua de alimentación del Equipo de Osmosis Inversa implementado en PT3 en la puesta en marcha

Parámetros	unidad	5/03/2021
pH	-	7.1
Conductividad	µS/cm	3217
Dureza total	mgCaCO3/L	1260
Cloruros	mg/L	641.48
Sólidos disueltos totales	mg/L	2400
Alcalinidad total	mg/L	232
Sulfatos	mg/L	543.52
Coliformes totales	NMP/100 ml	<1.8
ICP		
Aluminio Total	mg/L	<0.003
Antimonio Total	mg/L	<0.00013
Arsénico Total	mg/L	0.0017
Bario Total	mg/L	0.053
Berilio Total	mg/L	<0.00006
Bismuto Total	mg/L	<0.00003
Boro Total	mg/L	0.722
Cadmio Total	mg/L	<0.00003
Calcio Total	mg/L	364.918
Cobalto Total	mg/L	<0.0003
Cromo Total	mg/L	<0.0003
Cobre Total	mg/L	<0.00009
Estroncio Total	mg/L	1.8235
Estaño Total	mg/L	<0.00010
Hierro Total	mg/L	0.018
Fosforo Total	mg/L	0.054
Litio Total	mg/L	0.0719
Magnesio Total	mg/L	77.052
Manganeso Total	mg/L	0.0188
Molibdeno Total	mg/L	0.0035
Níquel Total	mg/L	<0.0006
Plata Total	mg/L	<0.000010
Plomo Total	mg/L	<0.0006
Potasio Total	mg/L	<5.19
Selenio Total	mg/L	<0.0013
Silicio Total	mg/L	18.09
Sodio Total	mg/L	316.532
Talio Total	mg/L	<0.00006
Titanio Total	mg/L	<0.00006
Vanadio Total	mg/L	0.0043
Zinc Total	mg/L	0.0027

FUENTE: Laboratorio NSF Inassa (2021)