

**Propuesta De Aprovechamiento De Agua De Rechazo Del Sistema De Purificación De Agua
Para Procesos Industriales En Una Planta Cosmética**

Santiago Facundo López, Camilo Ferro Junco, Lidy Katherin León Rincón, y
Claudia Johanna Niño Mora.
Universidad del Bosque, Bogotá.

Tutora

Emilsy Rosio Medina Chacón

Metodólogo

Juan Sebastián Sánchez Gómez

**Universidad del Bosque
Facultad de Ingeniería
Especialización en Gerencia de Producción y Productividad**

**Bogotá, Colombia
Mayo de 2023**

Tabla de Contenido

Resumen.....	7
Introducción	8
1. Formulación del Proyecto.....	9
1.1 <i>Problema de Investigación</i>	9
1.1.1. <i>Identificación</i>	9
1.1.2. <i>Descripción</i>	11
1.1.3. <i>Planteamiento</i>	11
1.2 Justificación.....	11
1.3 Objetivos	12
1.3.1. <i>Objetivo General</i>	12
1.3.2. <i>Objetivos específicos</i>	12
1.4 Metodología.....	12
1.5 Alcances y resultados	14
2. Marco de referencia.....	15
2.1 Antecedentes	15
2.2 Marco teórico	16
3. Diagnóstico de Los Requerimientos de Agua de Los Equipos y Procesos y Los - Parámetros Que Tiene el Agua de Rechazo	24
3.1 Identificación de Equipos y Procesos Viables para el Uso de Agua de Rechazo.....	27
3.2 Matriz de Riesgos.....	28
3.3 Caracterización de Agua Potable.....	29
3.4 Caracterización Agua de rechazo	30
3.5 Parámetros de Agua de Caldera	30
3.6 Parámetros de Agua de Chiller.....	31
3.7 Punto de Consumo PTARI.....	32
3.8 Proceso Enfriamiento de Marmitas	32
4. Diseño de la Propuesta Para la Reutilización Del Agua de Rechazo	34
4.1 Diagrama de Flujo Del Sistema propuesto	34
4.2 Balance de Materia.....	36
4.3 Diseño de la Red Abastecimiento de Agua	38
4.4 Automatización Del Sistema	44
5. Costos y Beneficios Económicos y de la Huella Hídrica	48
5.1 Costos Asociados a la Implementación de la Propuesta.....	48
5.1.1 Costos de Materiales y Equipos.....	48
5.1.2 Costos de Mano de Obra para Instalación y Programación.....	49
5.2 Costos de Operación.....	49
5.3 Beneficios.....	49
5.3.1 <i>Beneficios Económicos</i>	49
5.3.2 <i>Beneficios en Reducción de Huella hídrica y Sostenibilidad ambiental</i>	50
5.4 Análisis de Viabilidad	53
5.5 Análisis de Viabilidad Mejorado.....	54
6. Conclusiones	57
7. Recomendaciones	58
Referencias.....	59

Lista de tablas

Tabla 1. Matriz metodológica	13
Tabla 2. Caracterización de Agua.	17
Tabla 3. Normas para el uso, reúso y tratamiento de aguas.	23
Tabla 4. Requerimientos de agua potable en los procesos de la planta cosmética.	27
Tabla 5. Especificaciones de agua potable.....	29
Tabla 6. Caracterización de agua potable en planta cosmética.	29
Tabla 7. Caracterización del agua de rechazo.	30
Tabla 8. Parámetros de alimentación de agua de caldera.....	31
Tabla 9. Parámetros de alimentación de agua de chiller.	31
Tabla 10. <i>Resumen de equipos y procesos en los que es posible reemplazar agua potable por agua de rechazo.</i>	32
Tabla 11. Consumos de agua en equipos y procesos industriales mensual para el reemplazo de agua potable.	37
Tabla 12. Comparación de consumos de agua actual y propuesto con la reutilización de agua de rechazo.	37
Tabla 13. Datos primarios para diseño de red de abastecimiento.	40
Tabla 14. Descripción detallada de los elementos requeridos para la automatización del proceso.	46
Tabla 15. Costos materiales y equipos para el diseño del sistema propuesto.	48
Tabla 16. Costos asociados a mano de obra de instalación y programación.	49
Tabla 17. Ahorro anual por tratamiento de agua de rechazo al ser reutilizada.	50
Tabla 19. Ecoindicador para control y seguimiento de uso razonable de agua.	51
Tabla 20. Beneficios sobre los objetivos de desarrollo sostenible enfocados al uso razonable del agua y su impacto sobre la propuesta de diseño.	51
Tabla 21. Flujos anuales en Millones de pesos	53
Tabla 22. Costos materiales y equipos mejorado por reutilización de materiales para el diseño del sistema propuesto.	54
Tabla 23. Flujos anuales en Millones de pesos con los costos mejorados por reutilización de materiales.....	55

Lista de figuras

Figura 1. Tasa de crecimiento anual del sector de la cosmética en el mundo desde el 2004 hasta 2021.	10
Figura 2. Clasificación de tipos de purificación de agua.	19
Figura 3. Proceso de ósmosis y ósmosis inversa.	19
Figura 4. Sistema de purificación de agua por ósmosis inversa.	21
Figura 5. Diagrama de flujo de proceso de purificación de agua.	26
Figura 6. Flujo de proceso propuesto para la reutilización de agua de rechazo.	35
Figura 7 Esquema de distribución de agua de rechazo según requerimientos de los procesos industriales.	36
Figura 8. Plano de la red de Distribución de agua de rechazo.	39
Figura 9. Figura para la selección de tubería para red de abastecimiento PAVCO.	42
Figura 10. Diagrama para selección de Bomba.	43
Figura 11. Identificación de la potencia de bomba.	43
Figura 12. Proceso de automatización.	45
Figura 13. Inversión y flujos anuales hasta la recuperación de la inversión	54
Figura 14. Inversión optimizada y ahorros para el cálculo del retorno de la inversión en pesos	56

Lista de ecuaciones

Ecuación 1. Velocidad del agua a través del sistema.	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 2. Diámetro de la tubería.	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 3. Ecoindicador de agua.	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 4. VPN	¡Error! Marcador no definido.
Ecuación 5. TIR	¡Error! Marcador no definido.

Tabla de anexos

ANEXO 1. Matriz de ponderación de factores Selección de Procesos	61
ANEXO 2 Matriz de riesgos para el uso de agua de rechazo en procesos industriales	62

Resumen

El objetivo principal del proyecto es proponer una alternativa para reutilizar el agua de rechazo del sistema de ósmosis inversa y reducir el consumo de agua potable. Se plantea una metodología cuantitativa que permita determinar la cantidad de agua de rechazo y evaluar su viabilidad para ser utilizada en equipos y procesos industriales. Para ello, se realiza un análisis comparativo de las características fisicoquímicas del agua de rechazo con respecto al agua utilizada actualmente.

A partir de una evaluación de riesgos se seleccionaron las calderas, el chiller, el enfriamiento de marmitas y lavado en áreas de PTARI viables para reemplazar agua potable por agua de rechazo sin afectar su operación.

En el nuevo sistema de distribución de agua de rechazo se incluyen equipos de automatización industrial para su adecuado control.

El diseño propuesto estima la reutilización de 1953,8m³ al año con unos costos de implementación optimizada de \$27.005.657 generando un valor presente neto aproximado de 63 millones de pesos y un tiempo estimado del retorno de la inversión de 1 año y 6 meses. Esta alternativa contribuiría a la preservación de los recursos hídricos y a la sostenibilidad de la planta cosmética y la industria.

Palabras claves:

Agua, Ósmosis, Procesos, Reúso, Sostenibilidad.

Introducción

El siguiente documento presenta la formulación de un proyecto que tiene como objetivo reducir el consumo de agua potable en una planta cosmética aprovechando el agua de rechazo del sistema de purificación. El problema de investigación se centra en la situación actual del sector cosmético y su impacto en el medio ambiente.

El capítulo 1 contiene la formulación del proyecto, el cual inicia con la descripción de la oportunidad de negocio. Aquí se incluye una síntesis de los antecedentes, el alcance y las limitaciones, junto al planteamiento del problema, la pregunta y los objetivos. La metodología para el desarrollo de la propuesta es una investigación de tipo cuantitativo ya que pretende cuantificar la cantidad de agua de rechazo y determinar la viabilidad de su aprovechamiento para los procesos industriales.

Más adelante en los capítulos 2 y 3 se desarrolla el primer objetivo específico de la investigación el cual contiene el diagnóstico de los requerimientos de agua que tienen los equipos y procesos actualmente en la organización para darle un correcto aprovechamiento al proyecto.

El diseño de la propuesta para la reutilización del agua de rechazo y de esta manera lograr reducir el consumo en el sistema de agua potable se muestra en el capítulo 4, el cual corresponde al objetivo específico dos.

Seguidamente se presenta un análisis de costos y beneficios económicos y de la huella hídrica para la implementación de la propuesta y determinando su viabilidad. Finalizando, se presentan conclusiones y recomendaciones.

1. Formulación del Proyecto

El presente capítulo conforma la base de estudio para disminuir el consumo de agua potable con el aprovechamiento del agua de rechazo del sistema de purificación de una planta cosmética, evaluando el impacto en el proceso productivo y la contribución al medio ambiente.

1.1 Problema de Investigación

En línea con las tendencias actuales de las empresas ambientalmente responsables y sostenibles, el agua es uno de los principales insumos de la industria cosmética, convirtiéndose en un factor relevante para impulsar el mejoramiento continuo en el cuidado de los recursos naturales. Por medio del problema de investigación se describe la situación actual del sector y su impacto en el medio ambiente.

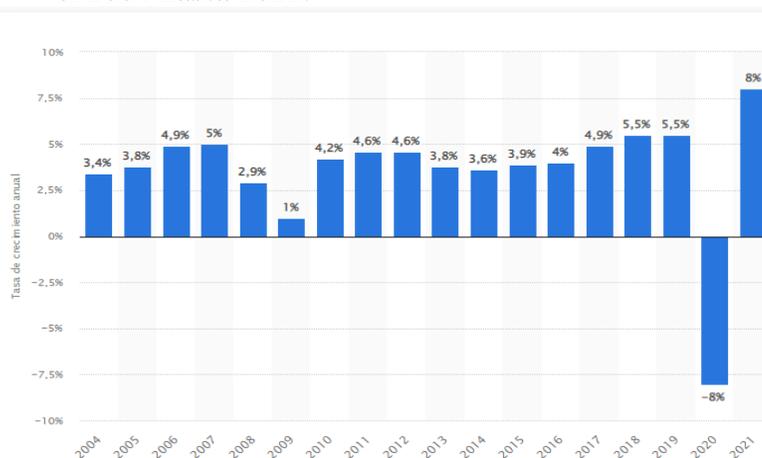
1.1.1. Identificación

El crecimiento del sector cosmético está en constante ascenso. Las inversiones en productos cosméticos nuevos e innovadores asociados al cambio en los estilos de vida y al alto poder adquisitivo de los consumidores ha incrementado las ventas de los cosméticos a través de diversos canales, estimulando el crecimiento del mercado en Latinoamérica.

Para cubrir estas necesidades, el mercado presenta participaciones de proveedores internacionales y locales que ofrecen una amplia selección de productos en diferentes rangos de precios y año a año ha comenzado a incrementarse el consumo de nuevas tendencias como los productos naturales sobre los productos fabricados con químicos sintéticos. Además, el uso intensificado de cremas rejuvenecedoras ha impulsado aún más el crecimiento de la industria.

Es importante notar que el sector cosmético tuvo un retroceso debido a las repercusiones por el COVID-19, reportando tasas de disminución para el tercer trimestre del 2020 de hasta 15,5%, con respecto al año anterior, sin embargo, en el 2021 Colombia se posicionó como el segundo país de América Latina con el mayor gasto per cápita en productos de belleza superado únicamente por Argentina (Statista Research Department 2022). A nivel mundial el COVID-19 también impactó la industria de la belleza y el cuidado personal con un decrecimiento del 10% con respecto al año 2019, sin embargo, para el 2021 mostró una recuperación del 8%. (Statista Research Department 2023).

Figura 1. Tasa de crecimiento anual del sector de la cosmética en el mundo desde el 2004 hasta 2021.



Fuente: Statista (2023)

Una vez superada la pandemia, se proyecta un crecimiento del 4,11% en el mercado de productos cosméticos de Colombia durante el periodo. (2020 -2025) (MordorIntelligence , 2022)

El 2022 según datos de la ANDI, el mercado registró un crecimiento del 3,8%. (Cuartas, 2022). La reactivación empresarial y el retorno a la presencialidad fueron factores claves para reactivar el consumo de las categorías de cosméticos; entre las categorías que impulsaron el crecimiento de la industria durante el 2021 estuvieron: fragancias, cuidado de cabello y aseo del hombre con un 50% de la categoría de cuidado y belleza personal.

Los productos de la industria cosmética según la categoría, en especial cuidado y belleza personal, pueden contener una media entre el 60% a 85% de contenido de agua, sin contar con la demanda adicional necesaria para los procesos. Al estar en continuo crecimiento y tener presente que el agua escasea debido a ser un recurso natural limitado, es responsable hacer un uso consciente de esta.

La preocupación constante sobre el uso racional de los recursos llevó a que en el 2015 los países miembros de las Naciones Unidas aprobaran los 17 objetivos de desarrollo sostenible para la agenda del 2030, en la cual se establecieron compromisos y objetivos para movilizar a todos los sectores de la sociedad con el fin de dirigir los esfuerzos hacia el aseguramiento del desarrollo sostenible en beneficio que los recursos naturales sean de acceso para todos; como lo menciona el objetivo 12 “la productividad y consumo responsable consisten en hacer más y mejor con menos”. De esta manera el objetivo 12, producción y consumo responsables, presenta como una de sus metas, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales para el 2030. (Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2015)

Siendo el agua un recurso natural se convierte en objeto constante de evaluación para aumentar la eficiencia en los procesos industriales. El uso responsable, la reducción, el reúso y contaminación son factores fundamentales en los gobiernos y en la comunidad internacional. De esta manera la industria cosmética no puede ser ajena a buscar soluciones para los procesos que involucren el uso de agua, incluyendo la purificación de agua que

genera como residuo agua de rechazo. Si bien el agua de rechazo tiene condiciones y parámetros diferentes a la potable su uso en procesos industriales es viable.

1.1.2. Descripción

La planta de estudio corresponde al sector cosmético con más de 40 años operando en Colombia. Está ubicada en Cundinamarca, cuenta con cerca de 1000 personas dentro de su operación y fabrica y comercializa más de 80 millones de productos al año. Es una de las empresas líderes en el mercado de productos de belleza con sede propia produciendo y comercializando productos de calidad mundial en América y Europa, mediante su presencia directa en 10 países: Bolivia, Colombia, Ecuador, España, Guatemala, México, Perú, Venezuela, Panamá e Italia.

Tiene participación en los mercados de fragancias, maquillaje y cuidado personal, siendo este último el de mayor consumo. En el año 2022 tuvo una producción aproximada de 2000 toneladas de producto lo que representa un consumo importante de agua como uno de los principales insumos para el correcto desarrollo de su operación; para la empresa en estudio, en total ingresaron aproximadamente 19300 metros cúbicos de agua al proceso, estos se distribuyen en un 45% aproximadamente para las áreas de: servicio de alimentación, servicios sanitarios, agua para sistemas de apoyo crítico como enfriamiento, calderas, planta de tratamiento de aguas residuales e industriales (PTARI) procesos de lavado en planta, entre otras y el 55% restante se dirige al sistema de obtención de agua purificada con el fin de ser usada en los procesos de producción dentro de la planta y sanitización de equipos. (Consumo planta 2021 – 2022. Fuente propia)

Del 55% del agua potable utilizada en el sistema, se redistribuye en promedio en relación 70/30 entre agua purificada y agua de rechazo como resultado de la producción a partir del proceso de ósmosis inversa, las características de esta agua de rechazo presentan incremento en sales disueltas, coloides, partículas orgánicas y bacterias, con respecto a las características del agua potable, por esta razón esta agua no puede volver a recircularse durante el proceso de ósmosis inversa y debe desecharse por medio de la planta de tratamiento de agua residual (PTARI) (Mantenimiento histórico 2021 – 2022 fuente propia).

Al ser conscientes del gasto de agua mensual, tanto de la cantidad misma como de los costos asociados para el tratamiento y alineada como empresa responsable en desarrollo sostenible para reducir el impacto en la huella hídrica de la empresa es imperativo buscar una solución que disminuye el consumo de agua en sus procesos.

1.1.3. Planteamiento

Teniendo en cuenta las necesidades mundiales con el ahorro y el buen uso de los recursos naturales ¿Cuál sería la alternativa para la reutilización de agua de rechazo del sistema de purificación con el fin de reducir el consumo de agua potable en procesos industriales en una planta cosmética?

1.2 Justificación

Esta propuesta lleva un importante hecho que refleja la actualidad que vive el mundo referente al cambio climático. De acuerdo con la definición de la sostenibilidad según la ONU “satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la habilidad de las futuras generaciones de satisfacer sus necesidades propias”.

De esta manera, entendiendo que el agua de rechazo es un líquido similar al agua potable, pero con una carga iónica más alta, se puede esperar que el comportamiento en algunos procesos no altere su función, estimando una reducción en el consumo de agua en procesos industriales.

Dentro de la iniciativa de reducción del consumo de agua, existe un punto que no solo ayuda con el gasto de un recurso tan valioso como el agua, también interviene directamente en el tratamiento que se debe realizar a todo tipo de agua que ingrese en la PTARI. Con el aprovechamiento del agua en otros procesos parte de agua ya no ingresaría para tratamiento, por tanto, se reduce el consumo de insumos para tratamiento de agua.

Esta propuesta ayuda a promover la reingeniería de procesos, evaluando posibles modificaciones de redes hidráulicas que alimenten procesos industriales dentro de la planta y en áreas anexas y puede llegar a establecer pautas y lineamientos para la proyección de nuevos proyectos que requieran consumo de agua industrial.

1.3 Objetivos

Para definir el propósito del proyecto se han definido los siguientes objetivos:

1.3.1. *Objetivo General*

Plantear una alternativa para la reutilización de agua de rechazo del sistema de purificación en los procesos industriales con el fin de reducir el consumo de agua potable en una planta cosmética.

1.3.2. *Objetivos específicos*

Diagnosticar los requerimientos de agua que tienen equipos y procesos, contrastando las condiciones con las que trabajan actualmente para no afectarlos con los nuevos parámetros que tiene el agua de rechazo a partir de la caracterización de esta.

Diseñar una propuesta para la reutilización del agua de rechazo a fin de reducir el consumo del sistema de agua potable de los procesos industriales bajo las necesidades de la empresa.

Establecer los costos y los beneficios económicos y de la huella hídrica con implementación de la propuesta a fin de determinar la viabilidad de la ejecución.

1.4 Metodología

Para la metodología del desarrollo de la propuesta de aprovechamiento de agua de rechazo del sistema de purificación de agua en procesos industriales se utilizó una investigación de tipo cuantitativo ya que pretende cuantificar la cantidad de agua de rechazo y determinar la viabilidad de su aprovechamiento en procesos industriales.

La metodología cuantitativa es un enfoque de investigación que se centra en el uso de datos numéricos y estadísticos para analizar un fenómeno o problema de investigación. Algunas características de la metodología cuantitativa son:

- Se enfoca en la medición y análisis de variables que pueden ser expresadas en términos numéricos.
- Se utiliza un enfoque deductivo en el que se establecen hipótesis a priori y se prueban a través del análisis de datos.

- Se enfoca en la generación de resultados a partir de una muestra representativa de la población en estudio.
- Utiliza herramientas estadísticas y técnicas de análisis de datos para identificar patrones y relaciones entre variables “Metodología de la investigación” de Sampieri (2014)

La metodología de tipo cuantitativo que se utilizará en el presente estudio dará como fin cuantificar la relación entre las variables de interés y analizar su comportamiento. Se empleará un diseño no experimental transversal y correlacional recolectando datos de consumo de agua de los procesos industriales de forma retrospectiva a través de fuentes primarias para ser analizadas y tratadas con el fin de obtener datos confiables en el desarrollo del proyecto.

Tabla 1.
Matriz metodológica

Objetivo	Herramientas	Actividades	Propósito
Diagnosticar los requerimientos de agua que tienen equipos y procesos, contrastando las condiciones con las que trabajan actualmente para no afectarlos con los nuevos parámetros que tiene el agua de rechazo a partir de la caracterización de esta.	Análisis comparativo	Caracterización del agua de alimentación actual y rechazo	Establecer si las características de agua de rechazo son aptas para reemplazo en los procesos y equipos que requieren agua para su operación mediante la medición de propiedades físicas y químicas.
	Diagrama de flujo - Bizagi Modeler	Diagramar el sistema de ósmosis inversa	Identificar el origen del agua de rechazo.
	Matriz de ponderación de factores	Definir los factores relevantes para evaluar y seleccionar procesos	Identificar los procesos que requieren agua para su operación y seleccionar de acuerdo con los criterios más relevantes los que entran en la evaluación
Diseñar una propuesta para la reutilización del agua de rechazo a fin de reducir el consumo del sistema de agua potable de los procesos industriales bajo las necesidades de la empresa.	Matriz de riesgos	Realizar un análisis de que pasa si se usa agua de rechazo en cada proceso	Identificar los procesos en los que se podría utilizar agua de rechazo sin representar un riesgo para su operación
	Evaluación técnica del diseño óptimo	Balance volumétrico (agua demandada del proceso vs agua disponible de rechazo) y velocidad de fluido requerido para la continua alimentación de los procesos	Determinar la viabilidad técnica del diseño que cumpla con los requerimientos de la operación.
	AutoCAD	Diseño de las rutas de distribución de agua	Analizar la viabilidad de los trazados para los equipos disponibles de los procesos que utilizarían el agua de rechazo

Establecer los costos y los beneficios económicos y de la huella hídrica con implementación de la propuesta a fin de establecer la viabilidad de la ejecución.	Determinación de costos	Calcular costos totales de la propuesta.	Determinar los costos asociados a la propuesta y establecer beneficios económicos y ambientales de acuerdo con los objetivos de desarrollo sostenible
	Análisis costo-beneficio	Calcular el Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno y el PayBack del proyecto. Así como la reducción del ecoindicador de consumo de agua potable por cada 1000 unidades de producto.	

Fuente: Elaboración propia (2022)

1.5 Alcances y resultados

Este proyecto tiene como alcance la planta cosmética, caso de estudio, ubicada en Cundinamarca, en la cual se planteará una alternativa para la reutilización de agua de rechazo del sistema de purificación en los procesos industriales con el fin de reducir el consumo de agua potable, consiguiendo dar respuesta al desarrollo de los objetivos específicos.

Los datos serán recolectados del proceso productivo interno de la planta y analizados mediante las herramientas establecidas en la metodología de estudio, de esta manera se podrán diagnosticar los equipos y procesos que pueden usar agua de rechazo en sus operaciones.

Se debe considerar que, para ser sustentables, ahorrar no es suficiente, se deben buscar métodos en los que el uso de los recursos esté pensado en ser reciclables y reutilizables.

Con el desarrollo del proyecto se espera obtener un diseño que pueda integrar la mayor cantidad de equipos y procesos en los cuales pueda usarse el agua de rechazo según las características que presente. Una vez identificados estos equipos y procesos se diseñará el trazado hidráulico de abastecimiento de agua, teniendo en cuenta los accesorios que se necesitan y las distancias para conectar el rechazo con el reúso requiriendo menor inversión.

Finalmente se entregarán los costos para evaluar la viabilidad de la ejecución y los beneficios que se conseguirán al implementarse la propuesta.

2. Marco de referencia

El marco referencial que se desarrolla a continuación permite una mejor comprensión de los conceptos necesarios para el entendimiento de este proyecto. En este se presentan los antecedentes, los cuales fueron desarrollados con base en proyectos de grado y estudios relacionados con alternativas de reutilización de agua, dirigido a evitar el malgasto del recurso y a contribuir con el desarrollo sostenible. Posteriormente se encuentra el marco teórico que aborda de manera general los elementos necesarios para desarrollar una propuesta para el aprovechamiento del agua de rechazo del sistema de purificación en una planta cosmética. Y por último en el marco legal se explican las diferentes normativas que tienen impacto en el proyecto.

2.1 Antecedentes

Para el desarrollo de los antecedentes, se realizó una revisión bibliográfica en la que se mencionan estudios relacionados con el tema del presente proyecto encontrado diversos trabajos que han implementado o propuesto aprovechamiento de agua residual como resultado de los sistemas de tratamiento de agua ya sea por ósmosis inversa u otros tipos de proceso, así como aprovechamientos en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, todos orientados a la optimización en el manejo del agua y reducción de costos.

Benítez (2020) presenta propuesta para el aprovechamiento del agua de rechazo de un sistema de ósmosis inversa utilizada en una empresa de refrigerantes automotrices ubicada en el municipio de Zipaquirá, Cundinamarca, propuso 3 alternativas: riego, uso en sanitarios y evaporación, las cuales fueron evaluadas mediante una matriz contemplando factores como CAPEX, OPEX, tiempo de desarrollo y tiempos potenciales, con el fin de seleccionar la alternativa más viable y compatible con la empresa automotriz.

Nazer (2018), evaluó el comportamiento mecánico del hormigón conteniendo agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa proveniente del proceso de purificación de agua salobre. Los resultados mostraron mayores resistencias de compresión que la muestra control, concluyendo que el uso de agua de rechazo para el proceso de hormigón puede ser una alternativa conveniente como reemplazo de agua potable que generalmente se usa para la fabricación del hormigón.

Escobar (2016) presenta un diseño de sistema experto para reutilización de aguas residuales tratadas empleando una herramienta hidro informática para estimar el potencial de reutilización de agua residual en Huila, Colombia a partir de los análisis de calidad de agua, balances hídricos e indicando una eficiencia de tratamiento de agua de 88,7% y el sistema experto da una recomendación del 92,2% para la reutilización de agua residual tratada que se clasifica como reutilización confiable.

En otra investigación realizada respecto a los sistemas de purificación de agua en plantas industriales, se halló un proyecto de estudio de viabilidad para la reutilización de las aguas residuales en una planta petroquímica, realizado por Sanz (2007), se evidencia que los sistemas terciarios se emplean para lograr la pureza de este tipo de aguas y que estas se pueden lograr utilizar para sistemas agrícolas en el proceso de riego, para actividades de recreación y en algunos casos para el consumo humano. Aunque esta investigación se generó de aguas derivadas de procesos industriales, se muestran procesos de recirculación de aguas residuales, alcanzando el objetivo de un sistema de tratamiento terciario, con propósito de reutilizar este tipo de aguas en zonas verdes y de uso agrícola.

Según el trabajo de grado “Diseño de planta de tratamiento de agua en empresa industrial de Colombia”, al lograr realizar la técnica de ósmosis inversa se logra separar el 95% de sales y en el caso de las aguas residuales se logra eliminar colores, microorganismos y carga orgánica entre otros, adicionalmente un estudio realizado en la Universidad Autónoma de Colombia, este proceso también se puede realizar mediante procesos de microfiltración, destilación, congelación, evaporación instantánea, destilación repetida, entre otros, sin embargo, estos procesos tienen costos bastante altos en términos de energía eléctrica y no se alcanzan a obtener resultados como con la ósmosis inversa en materia de filtración de partículas (Moreno, 2011).

En una diferente investigación denominada “Validación de detención de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult”, realizada por Carrillo y Lozano (2008), se halló un estudio donde se utiliza esta técnica en el agua potable y se demuestra cómo se puede detener la acumulación de coliformes mediante el proceso de membranas de filtración utilizando el ensayo de Agar Chromocult; mediante este estudio se logra demostrar como este tipo de análisis disminuye los costos del tratamiento de aguas potables y así definir los correspondientes ensayos para ubicar específicamente la membrana en situaciones muy altas de contaminación en agua por grandes acumulaciones de coliformes totales.

Continuando con la investigación, en un estudio denominado “Aplicación de tecnología de membranas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos”, realizado en la Universidad Rey Juan Carlos, en Madrid (España) por Sotto (2008), donde se muestra detalladamente el diseño de membranas de filtración por medio de técnicas de nanofiltración y ósmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas.

En resumen, en la literatura se encuentran estudios basados en el uso de ósmosis inversa para la recuperación o manejo de aguas residuales, industriales, de fuente, entre otras. Sin embargo, la parte que concentra el contaminante ya sean sales, microorganismos, material orgánico se dispone generalmente para desecho, pero estudios como el de Nazer (2018) y Benítez (2020) presentan propuestas para emplear el agua de rechazo en procesos industriales que no requieren agua potable. En esta propuesta se plantea darle un uso efectivo al agua de rechazo obtenido como residuo del tratamiento de ósmosis inversa en la purificación de agua de una planta cosmética.

2.2 Marco teórico

2.2.1 Agua

El agua es un recurso renovable, líquido transparente, incoloro, inodoro e insípido en estado puro, conformado por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno. Los usos del agua más comunes son la agricultura, el consumo industrial y el consumo doméstico. El continuo crecimiento de la población genera una demanda cada vez mayor de este recurso finito.

“En la industria cosmética el agua es necesaria para realizar emulsiones y preparaciones; debe poseer características específicas que permitan realizar la fabricación de productos sin afectar la formulación ni la estabilidad de estas. Se emplea como una materia prima dentro de las fórmulas cosméticas; y debe tener características que no alteren los productos finales, ya que puede generar inestabilidad en la vida útil, o ser un vehículo de contaminación de un lote de producción. Adicional el agua se utiliza en procesos de limpieza y desinfección y purga de marmitas y utensilios” (Londoño, 2013).

2.2.1.1 Tipos de agua

Existen diferentes tipos de agua en función de sus características químicas, físicas o biológicas. Los principales tipos de agua de acuerdo con el objeto de la investigación son los siguientes (Perez, 2010):

Agua bruta: El agua bruta o agua cruda es el agua que no ha recibido ningún tratamiento. Se encuentra en fuentes y reservas naturales de aguas superficiales y subterráneas.

Agua potable: Es el agua que posterior a un tratamiento adecuado que garantiza las condiciones y características físicas, químicas y microbiológica establecidas en la resolución 2115 de 2007 es apta para el consumo humano, sin que exista peligro para la salud.

Aguas residuales: Estas son cualquier tipo de agua que ha sido afectada de manera desfavorable por acciones del ser humano, de esta manera, quedarían fuera de esta clasificación las aguas que, por causas o efectos naturales, no son aptas para el consumo y/o también las aguas que por acción del ser humano sean aptas.

Aguas residuales industriales: Este tipo de agua residual posee químicos tanto orgánicos como inorgánicos, sus principales contaminantes son por los productos orgánicos.

Los tipos de agua residuales industriales que hay son:

Aguas con materia orgánica biodegradable.

Aguas con materia orgánica no biodegradable.

Aguas con aceites y grasas.

Aguas con metales pesados.

Aguas salinas o salmueras.

Residuos industriales líquidos.

2.2.1.2. Características del agua

Las características del agua se pueden clasificar en propiedades físicas, químicas y microbiológicas como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2.

Caracterización de Agua.

Propiedades	Características
Físicas	Turbiedad, color, olor, sabor, temperatura, sólidos, conductividad.
Químicas	Dureza, pH, acidez, alcalinidad, fosfatos, sulfatos, hierro (Fe), manganeso (Mn), cloruros, oxígeno disuelto, grasas y/o aceites, amoníaco, cloro, mercurio (Hg), plata (Ag), plomo (Pb), aluminio (Al), Zinc (Zn), cromo (Cr), cobre (Cu), boro (B), cadmio (Cd), Bario (Ba), arsénico (As), nitratos, nitritos, carbono orgánico total (COT), pesticidas, etc.
Microbiológicas	Protozoarios (patógenos), helmintos (patógenos), coliformes fecales y coliformes totales.

Fuente. [Caracterización de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua potable y en la red de distribución de la ciudad de Yopal. Recuperado de Pérez (2010).

2.2.2. Sistemas de Purificación de agua (Iriarte, 2020)

El agua se purifica para eliminar los contaminantes y sustancias como sedimentos, iones, microorganismos o cualquier otro tipo de agente que pueda afectar la calidad de acuerdo con el tipo de aplicación para la que se requiera; ya sea para consumo humano o para procesos industriales con especificaciones particulares.

En general se pueden clasificar tres tipos de purificación de agua: físicos, químicos y biológicos.

Dentro de los sistemas físicos de purificación se encuentra el desarrollo de nuevas membranas de filtración a partir de materiales como acetato de celulosa, poliamida y quitina, tereftalato de polietileno PET, membranas de nanofiltración, membranas a partir de nanocristales de celulosa, membranas de polifluoruro de vinidileno con dióxido de titanio y microgránulos de carbono cubierto con sílice, entre otros.

Los sistemas basados en métodos químicos presentan dos retos importantes uno relacionado con la eficiencia y el segundo con el efecto que estos químicos pueden causar sobre el ecosistema acuático.

En los tratamientos biológicos ha surgido el uso de enzimas o la biofiltración combinada con ozono donde se usan nuevas especies de bacterias (nitrosomonas) capaces de solucionar aspectos como la degradación de moléculas complejas, el rendimiento y la vida útil de los filtros (Iriarte, 2020).

El presente proyecto se enfoca en el sistema de purificación de agua dentro de los sistemas físicos descritos anteriormente.

2.2.2.1 Filtración

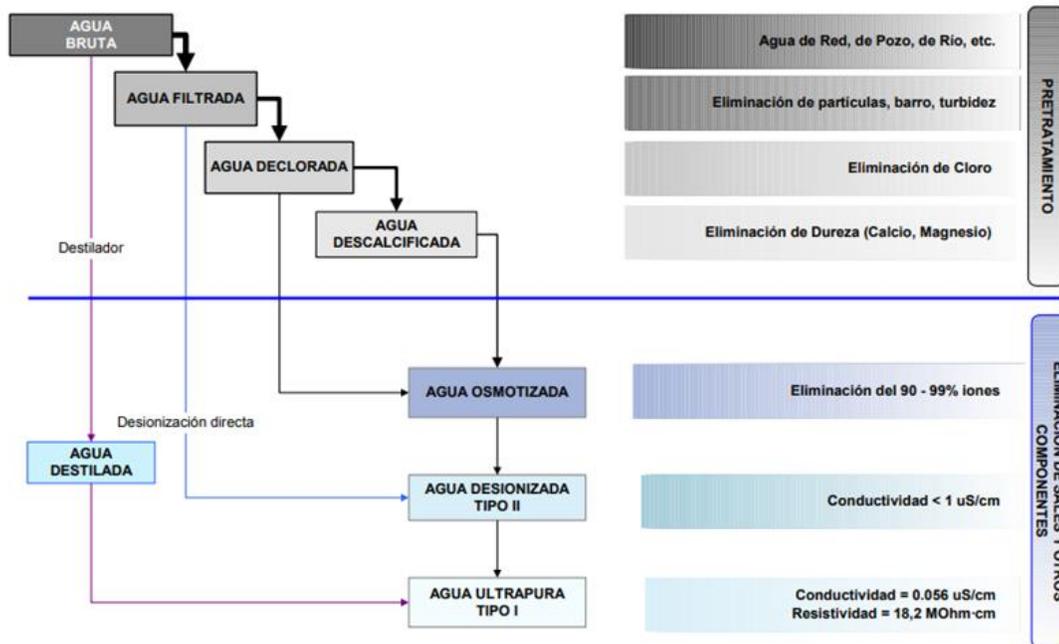
Proceso mediante el cual hay separación de sólidos en suspensión en un líquido, mediante un medio poroso que retiene los sólidos y permite el paso del líquido. Entre los materiales para realizar el filtrado se encuentran diversas opciones de acuerdo con el proceso que se desee realizar y depende de factores como el tamaño de las partículas a separar, cantidad, volumen, temperatura y pureza requerida (Flores, 2012).

El propósito de los filtros de sedimentos es tener áreas de superficie extensas para atrapar grandes cantidades de partículas. Estos sedimentos se retienen en las gruesas paredes de los filtros que a medida que se acerca al centro tienen un tamaño de partícula más reducido, filtrando partículas cada vez más pequeñas a lo largo de su paso por el filtro (Orozco, 2022).

De acuerdo con el tipo de calidad de agua requerida para los procesos productivos se establecen las necesidades de implementar el sistema de purificación adecuado. Para industrias cosméticas el agua requerida es de tipo osmotizada con el fin de evitar presencia de iones que interactúen con las formulaciones cosméticas y afecten la estabilidad de estas, el proceso por el cual se obtiene el agua se llama ósmosis inversa.

En la figura 2 se observa un esquema de los tipos de agua según el tratamiento que se le dé y sus características finales.

Figura 2. Clasificación de tipos de purificación de agua.



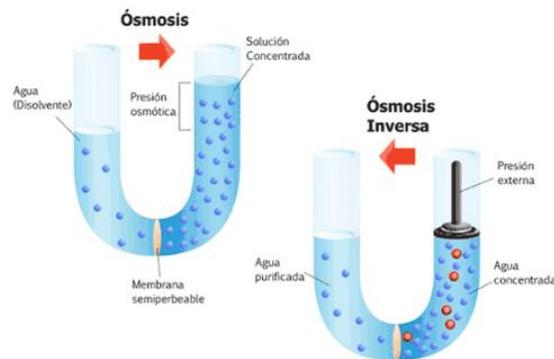
Fuente. Wasserlab (s.f)

2.2.2.1.1 Ósmosis y ósmosis inversa

El objetivo de este fenómeno consiste en llegar a un equilibrio iónico entre dos fluidos separados por una membrana semipermeable, dentro del sistema se encuentra un fluido diluido que atraviesa la membrana hacia el fluido con mayor concentración. Finalmente, el volumen de agua será mayor en uno de los lados de la membrana. La presión diferencial de la columna de agua formada por este proceso es llamada presión osmótica (Vargas, 2018).

Figura 3

Proceso de ósmosis y ósmosis inversa.



Fuente. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/proceso-de-purificacion-de-agua/>.(2023)

Al utilizarse presiones superiores a la presión osmótica se produce el efecto contrario, de esta manera los fluidos pasan a través de la membrana gracias a la presión y los sólidos disueltos quedan al lado opuesto de la membrana, esto se conoce como ósmosis inversa.

Para poder forzar el paso del agua que se encuentra en la corriente de mayor concentración a la corriente de agua con baja concentración, es necesario presurizar el agua a un valor superior al de la presión osmótica. Como consecuencia a este proceso, el flujo de mayor concentración se concentrará aún más (Flores, 2012).

2.2.2.2 Proceso de purificación de agua

Para realizar el proceso de purificación de agua el sistema completo requiere de otros sistemas complementarios para realizar un pretratamiento del agua de alimentación. Entre los procesos se encuentran:

Suavizadores: Se utilizan resinas de intercambio iónico para suavizar el agua que tratan para reducir la dureza. Son usados frecuentemente en las calderas, ya que la dureza del agua puede causar serios problemas de mantenimiento.

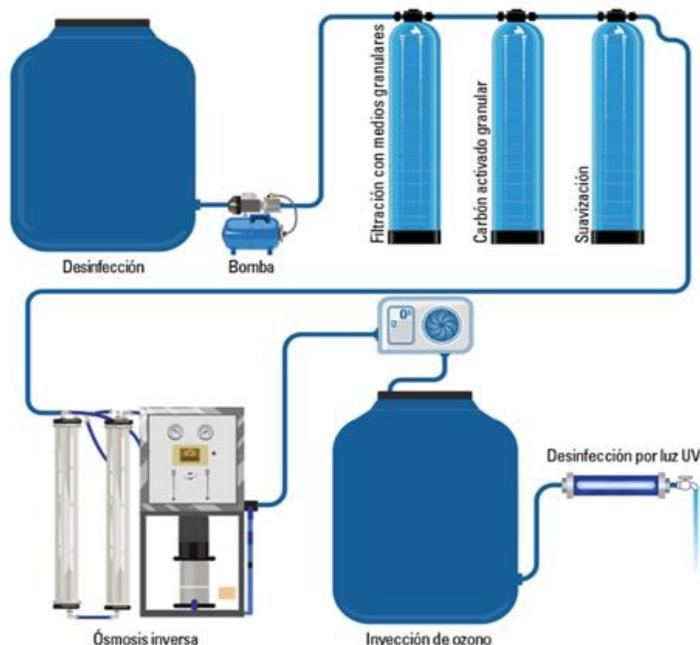
Filtros de arena: En este proceso se utiliza la arena como medio filtrante para retener partículas de sólidas en suspensión de hasta 20 micras.

Filtros de carbono: Los filtros de carbono usan carbón activado para remover impurezas en el agua a través de absorción química. Son especiales para remover productos químicos como cloro y sulfuro de hidrógeno, además de contaminantes orgánicos que generan mal olor y sabor. (Solis, 2017).

Lámparas UV: Los filtros ultravioletas irradian el agua en un rango de largo de onda de entre 220 y 320 nanómetros. En este rango la luz puede penetrar las paredes celulares y alterar el material genético de los microorganismos. (Solis, 2017).

En conjunto un posible sistema de purificación de agua debe consistir en un tratamiento físico y químico que tiene como objeto eliminar contaminantes que podrían representar un riesgo. En la figura 4 se detalla un sistema completo de purificación de agua empleando la ósmosis inversa.

Figura 4
Sistema de purificación de agua por ósmosis inversa.



Fuente. Recuperado de <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/tratamiento-de-agua/proceso-de-purificacion-de-agua/>.(2023)

Como resultado del proceso de ósmosis inversa se genera agua osmotizada que irá directamente a los procesos necesarios y el agua de rechazo; esta agua en ocasiones puede variar entre 25% a 75% del agua de ingreso y depende de factores como temperatura de agua tratada, presión del sistema, calidad de agua de ingreso, entre otros (Solis, 2017).

2.2.3. Equipos de transferencia de calor industriales

2.2.3.1 Calderas

Se define como todo aparato a presión en donde el calor procedente de cualquier fuente de energía se transforma en utilizable, en forma de calorías, a través de un medio de transporte, en ese caso, vapor de agua, por tanto, es importante el tratamiento de alimentación de agua para la vida útil, el rendimiento y la seguridad durante la operación de las calderas.

El esquema del ciclo de agua dentro de una caldera se puede considerar como sigue:

El agua de alimentación está constituida por una parte variable nueva y de agua de retorno que vuelve de los condensados.

En el interior de la caldera el agua se convierte en vapor, por lo que se puede considerar que el vapor está conformado por moléculas de agua.

El agua que se mantiene líquida se carga de las sustancias y elementos que tenía el agua vaporizada.

Si no se efectúa una desconcentración sistemática llamada purga, las impurezas cada vez se irán concentrando en la fase líquida y será necesario verter una parte del agua de la caldera. (Comunidad de Madrid, 2013)

2.2.3.2. Chilles

Un Chiller es una unidad de gran capacidad de enfriamiento aplicada al acondicionamiento de aire o agua a gran escala; mantiene el principio de la refrigeración y funciona en conjunto con otros equipos para hacer circular el medio refrigerante hacia cada ambiente a climatizar. Los componentes de un chiller son:

El compresor, encargado de hacer circular al refrigerante. El compresor succiona el refrigerante sobrecalentado a baja presión y temperatura, y lo comprime aumentando la presión y la temperatura.

El evaporador es un intercambiador de calor, cuya función es proporcionar una superficie para transferir calor del líquido por enfriar al refrigerante en condiciones de saturación.

El condensador. Su función es proporcionar una superficie de transferencia de calor, a través de la cual pasa el calor del refrigerante caliente al medio condensante.

La válvula termostática de expansión tiene como finalidad controlar el suministro apropiado de líquido refrigerante al evaporador, así como reducir la presión del refrigerante de manera que vaporice a la temperatura deseada. (Revista cero grados, 2017)

2.2.3.3. Principales Problemas Presentados en Equipos de Transferencia de Calor

Incrustaciones: Se presentan por la cristalización de sales en la superficie y se generan debido a que al aumentar la temperatura la solubilidad de estas sales decrece, tales como carbonato de calcio, sulfato cálcico, hidróxido de calcio y magnesio, también algunos silicatos de calcio, aluminio y magnesio. Estas incrustaciones disminuyen el rendimiento térmico y recalientan el metal expuesto a la llama.

Corrosión: Es el proceso mediante el cual el metal en contacto con el medio ambiente tiende a cambiar desde su forma pura a otra más estable. Este proceso ocurre más rápidamente en equipos de transferencia de calor en presencia de altas temperaturas, gases y sólidos disueltos en el agua.

Arrastre de condensado: Corresponde con el suministro de vapor húmedo que puede tener relación con deficiencias químicas en especial durante el tratamiento de agua de caldera que puedan tener excesivos contenidos de alcalinidad, sólidos totales y sílice que favorecen la formación de espuma y deficiencias mecánicas.

Depósitos: Corresponde al tipo de problema cuando el agua tiene sólidos en suspensión que provienen del agua de alimentación. Al igual que ocurre en las incrustaciones, la conductividad térmica de estos compuestos precipitados es muy baja, lo que puede llevar al fallo del metal por sobrecalentamiento (Universidad de Burgos, 2013).

2.2.3.4. Características Del Agua y su Influencia en Los Principales Problemas en Equipos de Transferencia de Calor (Ortiz, A 2018., Comunidad de Madrid 2013)

Dureza: Es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. Estas sales pueden ocasionar depósitos o incrustaciones en la tubería y pérdida de la eficiencia de la transferencia de calor.

pH: Es una medida de la concentración de iones hidronio en la disolución. Las aguas con valores de pH menores de 7 son aguas ácidas y favorecen la corrosión de las piezas metálicas en contacto con ellas, y las que poseen valores mayores de 7 se denominan básicas y pueden producir precipitación de sales insolubles (incrustaciones).

Hierro y Cobre: Pueden formar depósitos e incrustaciones, así como corrosiones localizadas en los haces tubulares sometidos a la radiación. Se pueden utilizar filtros para remover estas sustancias.

Conductividad: Evalúa la capacidad para conducir la corriente eléctrica. Datos de conductividad alta indica presencia de iones como cloruros, sulfatos, nitratos, sodio, magnesio, calcio que pueden llegar a afectar por corrosión, incrustaciones y depósitos en la tubería. (Alcaraz, 2017)

Material en suspensión o coloidal: Las partículas coloidales son partículas menores a 0,2 micrómetros y contribuyen a los depósitos e incrustaciones.

Alcalinidad: Es una medida del carbonato, bicarbonato, e iones hidróxido en el agua. Aguas con una baja alcalinidad tienden a ser más corrosivas, mientras que aguas con una alta alcalinidad tienen una gran tendencia a precipitar minerales. (Universidad de Burgos, 2013)

Sólidos totales: Los sólidos pueden afectar negativamente la calidad del agua de varias maneras, las aguas con abundantes sólidos disueltos suelen ser de menor palatabilidad y pueden inducir una reacción fisiológica desfavorable en el consumidor ocasional, por esta razón en las aguas potables es deseable un límite de 500 mg/L de sólidos disueltos.

Sílice: Favorece las incrustaciones muy duras o de baja conductividad térmica

Cloruros: Contribuyen a aumentar la salinidad del agua lo que la hacen corrosiva.

2.2.4. Normatividad

El marco legal o normativo permitirá el desarrollo óptimo del proyecto, mediante el correcto uso de las normas se logran bases consolidadas y de buen soporte para asegurar que el proyecto prospere y que su desarrollo no se vea afectado por falta de conocimiento en estas. En la siguiente tabla se presentan las normas por las cuales se regirá el proyecto.

Tabla 3.

Normas para el uso, reúso y tratamiento de aguas.

NORMA	DESCRIPCIÓN
Ley 9 de 1979	Fue el primer acercamiento del gobierno a la protección de la salud de los trabajadores. Establece las obligaciones que tienen tanto los colaboradores como las empresas para cumplir con las normas de higiene y seguridad establecidas.
Ley 373 de 1997	Por medio de la cual se establece el Programa del uso eficiente y ahorro de agua
Ley 3930 de 2010	Por medio de la presente ley se reglamenta la conservación y el uso del recurso hídrico en Colombia
Resolución 2115 de 2007	Por medio de la presente resolución se señalan diferentes características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua.
Resolución 0811 de 2008	Por medio de la presente resolución se definen los lineamientos a partir de los cuales la autoridad sanitaria y las personas prestadoras, concertadamente definirán en su área de influencia los lugares y puntos de muestreo para el control y vigilancia de la calidad del agua para consumo humano en la red de distribución.
Resolución 082 de 2009	Por medio de la presente resolución se adoptan formularios para la práctica de visitas de inspección sanitaria a los sistemas de suministro de agua para consumo humano

Resolución 0631 de 2015	Por medio de la presente resolución se establecen los parámetros y los valores límites máximos permisibles en los vertimientos puntuales a cuerpos de aguas superficiales y a los sistemas de alcantarillado público y se dictan otras disposiciones.
Decreto 1594 de 1984	El presente decreto establece los parámetros para los diversos tratamientos de aguas de acuerdo con su uso y disposición.
Decreto 1905 de 2000	Por el cual se por el cual se modifican los estatutos y el reglamento de funcionamiento de la Comisión de Regulación de Agua Potable y Saneamiento Básico
Decreto 1575 de 2007	El presente decreto establece el sistema de protección y control de la calidad del agua, con el fin de monitorear, prevenir y controlar los riesgos para la salud humana.
Decreto Ley 028 de 2008	Por medio del cual se definen diferentes estrategias de monitoreo, seguimiento y control integral al gasto de los recursos del Sistema General de Participaciones
Decreto 3333 de 2008	Por el cual se regula una tasa de redescuento, con tasa compensada, de la Financiera de Desarrollo Territorial S.A. FINDETER, para el Financiamiento de las Inversiones en Agua – FIA- dentro de los Planes Departamentales para el Manejo Empresarial de los Servicios de Agua y Saneamiento – PDA - y se modifica el Decreto 280 del 31 de enero de 2006.
Decreto 3930 de 2010	Por medio del presente decreto se fijan las zonas en las que se prohibirá o condicionará, la descarga de aguas residuales o residuos líquidos o gaseosos, provenientes de fuentes industriales o domésticas, urbanas o rurales, en las aguas superficiales, subterráneas o marinas.
Decreto 1873 de 2012	Por el cual se reglamenta el artículo 250 de la Ley 1450 de 2011, se crea el Mecanismo Departamental de Evaluación, Viabilización y Aprobación de Proyectos del Sector de Agua Potable y Saneamiento Básico priorizados en el marco de los Planes Departamentales de Agua y de los programas regionales y/o departamentales que implemente el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, se establecen sus requisitos y se dictan otras disposiciones.
Decreto 2667 de 2012	Por el cual se reglamenta la tasa retributiva por la utilización directa e indirecta del agua como receptor de los vertimientos puntuales, y se toman otras determinaciones.
Decreto 3050 de 2013	Por medio del cual se establecen las condiciones para el trámite de las solicitudes de viabilidad y disponibilidad de los servicios públicos domiciliarios de acueducto y alcantarillado
Artículo 79	El presente artículo de la constitución dice que el estado debe proteger la diversidad e integridad del ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines.
Artículo 80	El presente artículo de la constitución dice que el estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer sanciones legales y exigir la reparación de daños causados.
ISO 14000	Esta serie de normas cubre aspectos del ambiente, de productos y organizaciones. Expresa cómo se debe constituir un sistema de gestión ambiental positivo. Ha sido planteada para construir un equilibrio entre ahorro económico y la disminución de impactos ambientales.
ISO 14046	Esta norma específica los principios, requisitos y guía para la evaluación y generación de informes sobre la huella hídrica. Esto se aplica a productos, procesos y organizaciones basados en evaluaciones de sus ciclos de vida

Fuente: Elaboración propia (2022)

3. Diagnóstico de Los Requerimientos de Agua de Los Equipos y Procesos y Los - Parámetros Que Tiene el Agua de Rechazo

En este capítulo se presenta el análisis realizado para establecer los equipos y procesos en los que se puede reemplazar el agua potable por agua de rechazo; para esto se evaluaron por el método de ponderación los factores más relevantes para contemplar el uso de agua de rechazo y escoger los procesos bajo la calificación obtenida. Una vez identificados los equipos y procesos potenciales se realizó un análisis sobre los riesgos que se pueden presentar por el uso de agua de rechazo teniendo en cuenta sus características e impacto sobre los procesos, el personal y los materiales (Ortiz, A,2018, Comunidad de Madrid, 2013). Con estos riesgos identificados y valorados se establecieron los planes de acción para tener un diagnóstico sobre la viabilidad de uso del agua de rechazo como reemplazo del agua potable.

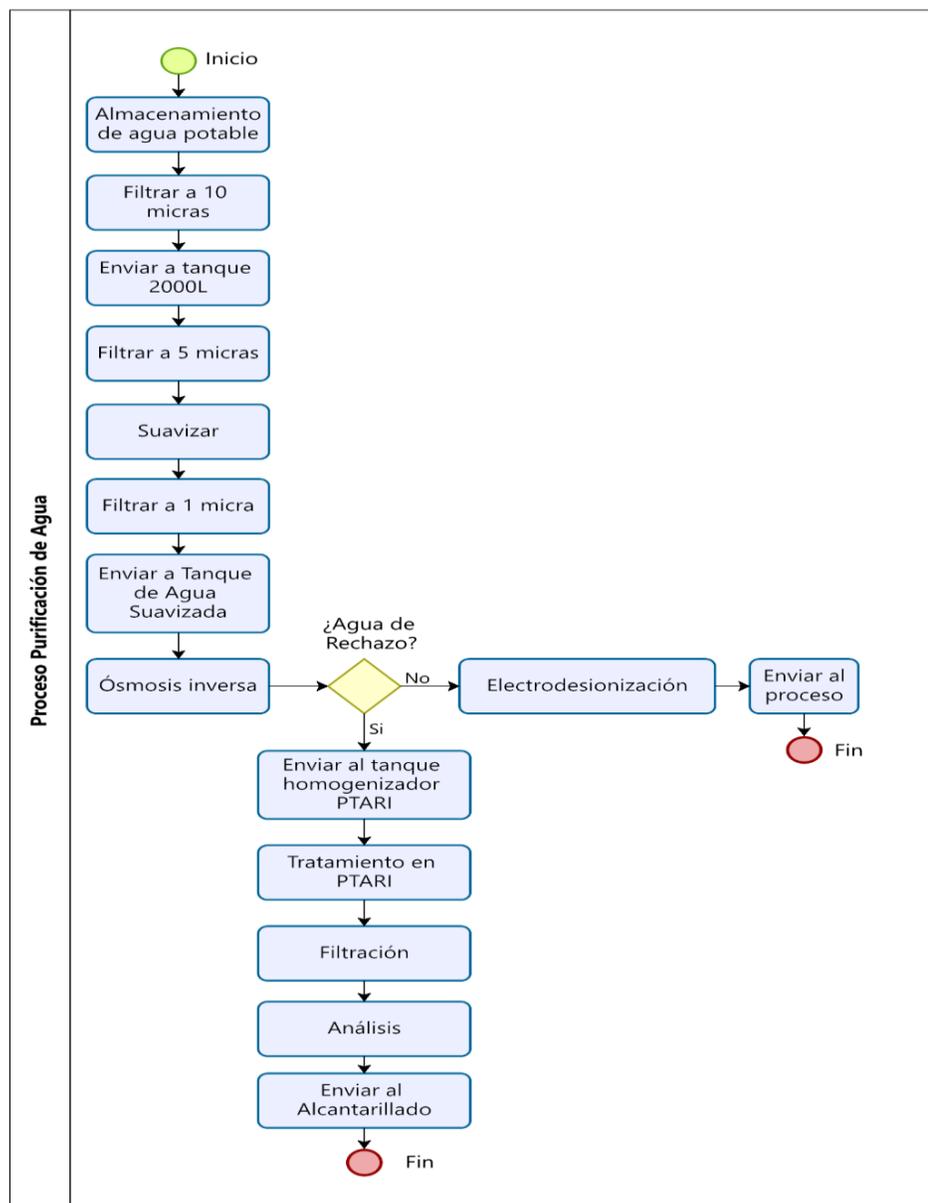
Para entender el comportamiento y las características del agua de rechazo, se presenta a continuación el detalle de la obtención de agua de rechazo como subproducto del tratamiento de agua purificada por ósmosis inversa.

En el sistema de purificación de agua por ósmosis inversa de la planta cosmética, el agua que pasa a través de la membrana y que está en menor concentración de sólidos disueltos se llama agua purificada y se mantiene en recirculación para la fabricación de los productos cosméticos y sanitización de equipos. Por otro lado, el agua de rechazo corresponde al agua que contiene una mayor concentración de iones y sales disueltas. La proporción de agua purificada a agua de rechazo para este sistema es de 70/30 promedio que está dentro de los datos encontrados en la literatura (Solis, 2017).

Con el objetivo de entender el sistema de purificación del agua, se realiza el diagrama de flujo del proceso haciendo uso de la herramienta Bizagi Modeler, el cual se ilustra en la figura 5 y se detalla la disposición final que se realiza actualmente con el agua de rechazo.

Figura 5

Diagrama de flujo de proceso de purificación de agua.



Powered by

 Modeler

Fuente: Elaboración propia (2023)

De acuerdo con el histórico de datos recolectados por la planta cosmética del 2022, el sistema de purificación de agua genera un porcentaje de rechazo que corresponde al 30% en promedio del volumen total que ingresa al sistema, el cual no se mezcla ni recibe sustancias externas además de las propias del proceso.

3.1 Identificación de Equipos y Procesos Viables para el Uso de Agua de Rechazo

Con el fin de poder realizar la selección de equipos y procesos en los que se puede reemplazar agua potable por agua de rechazo se listan en la siguiente tabla todos los consumos de agua potable que ingresa a la planta.

Tabla 4

Requerimientos de agua potable en los procesos de la planta cosmética para el año 2022

Procesos y equipos con requerimiento de agua potable	Consumos m ³
Cocina	1558
Chiller	649
Caldera	886
Sanitarios lavamanos planta	698
Sanitarios y lavamanos de oficina	199
Laboratorio	91
Enfriamiento marmitas	280
Lavado automático de tanques de almacenamiento	3100
Lavadero de fabricación	1065
Lavado de equipos de envasado	75
Punto de consumo PTARI	138
Sistema de purificación de gua	10555
Total	19294

Fuente: Elaboración propia (2023)

Una vez identificados todos los procesos y equipos con consumos de agua potable es importante considerar diversos factores que pueden influir en la eficacia de la reutilización del agua de rechazo. En este caso, se han identificado cinco factores clave, los cuales se evaluarán mediante el método de ponderación de factores.

El primero de ellos es el consumo humano, ya que es fundamental garantizar que el uso de agua de rechazo no comprometa la salud. Este factor permite calificar los procesos de acuerdo con la exposición que tienen los trabajadores al agua de rechazo en una escala de 0 a 5 así: 5 si no tiene contacto y 0 si tiene contacto directo con el trabajador, entendiéndose como contacto el consumo ya sea para hidratación o lavado de manos.

El segundo factor es el volumen requerido, es decir, la cantidad de agua que se necesita para la operación del proceso o equipo en cuestión. Partiendo de la premisa que se cuenta con la disponibilidad de suministro de agua de rechazo y una escala de evaluación de 0 a 5, los procesos o equipos que requieran un mayor volumen de agua para operar obtendrán 5 y los de menor volumen valores inferiores hasta 0.

El tercer factor es el contacto directo en la fabricación de productos, que se refiere a si el agua de rechazo entra en contacto directo con los equipos que participan en la

fabricación de los productos cosméticos en alguna etapa del proceso, generando un impacto negativo en la calidad del producto. En una escala de valoración de 0 a 5 los procesos o equipos donde el agua no entra en contacto con el producto obtendrá 5 de lo contrario su calificación será 0.

El cuarto factor es la facilidad de cambio del sistema de alimentación de agua, que se refiere a la viabilidad técnica y económica de modificar el sistema de alimentación de agua para permitir el uso de agua de rechazo. En este caso en una escala de 0 a 5 se evaluará la complejidad que genera realizar el ajuste de entrada de agua al equipo o proceso dando el mayor valor a aquellos donde se requiera el menor uso de recursos y esfuerzo.

Por último, el quinto factor es la distancia entre el proceso, que se refiere a la distancia física entre el proceso o equipo y la fuente de agua de rechazo, ya que esta distancia puede afectar la viabilidad técnica y económica de la reutilización del agua. En una escala de valoración de 0 a 5, los equipos de menor distancia obtendrán la mayor calificación dado que requerirían una menor inversión.

De acuerdo con el impacto que puede generar cada uno de estos factores en la viabilidad técnica y económica de la propuesta de reutilización de agua de rechazo se definen los siguientes pesos: 30% consumo humano, 20% volumen requerido, 30% contacto directo en la fabricación de productos, 15% facilidad de cambio del sistema de alimentación de agua y 5% distancia entre el proceso.

Los procesos y equipos que requieren agua potable para su operación y fueron evaluados son los siguientes: Cocina, lavado automático de tanques de almacenamiento, lavaderos de fabricación, sanitarios y lavamanos de planta, sanitarios y lavamanos de oficina, laboratorio, lavado de equipos de envasado, Chiller, caldera, enfriamiento de marmitas, punto de consumo PTARI para lavado. En el Anexo 1 se encuentran los resultados de la matriz de ponderación.

Como resultado de la aplicación del método de ponderación de factores se preseleccionan los siguientes equipos y procesos: chiller, caldera, enfriamiento de marmitas y punto de consumo PTARI por obtener la mayor calificación. Sin embargo, se realiza un análisis para identificar los riesgos asociados al uso de agua de rechazo y los controles para su eliminación o mitigación.

3.2 Matriz de Riesgos

En esta matriz, se contemplaron todos los peligros asociados al reemplazo de agua potable para determinar la criticidad del uso del agua de rechazo en los diferentes equipos y procesos. Al realizar la valoración de los riesgos se encontró que el 87,5% fueron evaluados como riesgos bajos, los cuales con acciones preventivas que se pueden realizar ya sea para intervención en las características del agua de rechazo o acciones en paralelo que pueden generarse en caso de ausencia de agua de rechazo es viable realizar el cambio a agua de rechazo.

La calificación de la priorización del riesgo fue dada por la ponderación de la severidad, ocurrencia y detectabilidad como criterios de evaluación.

Dentro de los planes de acción generados en la matriz de riesgo se debe determinar si el cambio de agua potable por agua de rechazo puede garantizar la compatibilidad de uso en los sistemas identificados, para ellos se realiza un levantamiento con las especificaciones

de los parámetros requeridos en los equipos y procesos seleccionados y se comparan con la caracterización de las aguas potable y de rechazo.

3.3 Caracterización de Agua Potable

El análisis comienza con la fuente de agua actual de alimentación. Con la caracterización del agua se pueden determinar los parámetros de partida para tratar el agua y alcanzar los requerimientos necesarios por los equipos y procesos; con esta información se puede establecer la criticidad en la evaluación para el reemplazo por agua de rechazo.

Las características que se tomaron en cuenta en el análisis fueron: pH, alcalinidad, dureza, cloruros, hierro, sólidos totales disueltos – STD, sílice y conductividad basadas en las propiedades sugeridas por el proveedor externo Novaquímica Colombia S.A.S dada su relevancia en los procesos industriales, quien actualmente realiza los muestreos y análisis al agua de calderas y chillers.

Según la resolución 2115 del 2007 las especificaciones que se deben cumplir en cada una de estas características en el agua potable se presentan en la tabla 5.

Tabla 5

Especificaciones de agua potable

Característica	Especificación
pH	6,5 - 9,0
Dureza (ppm)	máx 300
Alcalinidad (CaCO ₃) (ppm)	máx 200
Cloruros (Cl ⁻) (ppm)	máx 250
Hierro (Fe) (ppm)	máx 0,3
Conductividad (µs/cm)	máx 1000

Fuente: [Construida por autores con base en la Resolución 2115 del 2007.](2023)

Los resultados del muestreo y análisis de agua potable que ingresa a la planta se presentan en la siguiente tabla 6 y fue realizado por el proveedor Novaquímica Colombia S.A.S.

Tabla 6

Caracterización de agua potable en planta cosmética.

Característica	Resultado	Especificación
pH	6,9	6,5 - 9,0
Dureza (ppm)	34	máx 300
Alcalinidad (CaCO ₃) (ppm)	19,2	máx 200
Cloruros (Cl ⁻) (ppm)	24,1	máx 250
Hierro (Fe) (ppm)	0,1	máx 0,3
Std (ppm)	58	<100
Silice (Si)*(ppm)	3,0	<5
Conductividad (µs/cm)	140	máx 1000

Fuente [Construida por autores construida a partir de datos tomados por Novaquímica.](2023)

Esta caracterización de agua potable se realizó para poder comparar los resultados con los del agua de rechazo e identificar las variaciones que se tienen luego del proceso de ósmosis inversa.

3.4 Caracterización Agua de rechazo

Para identificar las características se tomaron 7 muestras de agua de rechazo en el punto de salida del sistema de ósmosis inversa. En la tabla 7 se encuentran los resultados.

Tabla 7
Caracterización del agua de rechazo.

Características de análisis								
No. Muestra	pH	ALK Total (ppmCaCO ₃)	Dureza (ppm)	Sílice (ppm)	Conductividad (□S)	STD (ppm)	Hierro(ppm)	Cloro Cl(ppm)
Muestra 1	7,38	32,4	30	4,0	160	107	0,3	24,0
Muestra 2	7,22	57,6	32	4,0	190	122	0,2	53,9
Muestra 3	7,31	28,8	0	3,0	210	134	0,5	56,8
Muestra 4	7,96	57,6	22	2,2	130	83	0,2	38,3
Muestra 5	8,90	29,0	50	0,3	380	243	0,3	40,0
Muestra 6	8,80	28,8	0	0,3	200	128	0,6	39,8
Muestra 7	8,64	28,8	10	0,3	230	147	0,8	57,0

Fuente [Construida por autores a partir de los datos tomados por Nova química.](2023)

Debido a que es agua de rechazo, esta no contiene especificaciones por tanto son datos referenciales como punto de partida para obtener los requerimientos de equipos como chiller y caldera tratando con químicos el agua de rechazo y lograr los requerimientos de máquinas industriales.

3.5 Parámetros de Agua de Caldera

Las calderas en la planta cosmética son pirotubulares con una potencia de 60 BHP cada una, cuentan con un sistema de suavización para pretratamiento de agua de consumo y tratamiento químico con el fin de proteger la integridad de las calderas.

Dentro de los aspectos se debe resaltar que en procesos críticos como el de la caldera, el agua de proceso debe cumplir con un requerimiento de parámetros mínimos sugeridos por el proveedor para que no se afecten los componentes internos por la influencia de las características del agua en los materiales de construcción de los equipos de transferencia de calor. Debido a esto, el agua de alimentación a la caldera debe ajustarse con adición de químicos de tratamiento para su adecuado funcionamiento.

En la tabla 8 se presentan las especificaciones requeridas que debe cumplir el agua de alimentación.

Tabla 8

Parámetros de alimentación de agua de caldera.

Parámetro	Especificación
pH	7,5 - 8,5
Alk-total,	<50
Dureza total, ppm.	Ideal 0, Max 20
Sílice, SiO ₂ . ppm.	<25
Conductividad, \square s/cm.	Max. 2300
S.T.D ppm	<30
Hierro total, Fe ppm.	Máx. 5
Cloruros, Cl ppm	Máx. 600
Olor y sabor	N/A

Fuente: [Ficha técnica del equipo](2023)

En las calderas se debe tratar el agua de ingreso para que alcancen los niveles establecidos con la especificación para estos equipos. Debido a que esta tarea en la actualidad se lleva a cabo con el agua de alimentación potable que requiere tratamiento, con la caracterización de agua de rechazo se considera viable como sustituto para ingreso en los equipos de transferencia de calor con tratamiento químico similar.

3.6 Parámetros de Agua de Chiller

El chiller de la planta cosmética es de tipo aire – agua con un tanque de intercambio de 10 m³, tiene una capacidad de 40 toneladas de refrigeración y cuenta con 2 sistemas de distribución para los procesos industriales de la planta. Es otro equipo crítico donde el agua tiene especificaciones definidas en los parámetros para su funcionamiento, debido al uso de químico para evitar daños internos, como se mencionó anteriormente. En este caso, el agua potable que ingresa también se trata con químicos para estar dentro de las especificaciones de uso.

Tabla 9.

Parámetros de alimentación de agua de chiller.

Parámetro	Especificación
pH	6,5 - 8
Alk-total,	<50
Dureza total, ppm.	0
Sílice, SiO ₂ . ppm.	<15
Conductividad, \square s/cm.	Max. 2300
S.T.D ppm	<30
Hierro total, fe ppm.	Máx. 5

Cloruros, cl ppm	Máx. 600
Olor y sabor	N/A

Fuente: [Ficha técnica del equipo] (2023)

Con la caracterización de agua de rechazo que contiene valores entre especificaciones de agua potable y agua requerida para el proceso, se considera viable sustituir el ingreso en los equipos de transferencia de calor con tratamiento químico similar.

3.7 Punto de Consumo PTARI

Para el punto de consumo de agua en la PTARI, las características de agua de rechazo no afectan la operación ya que va dirigida al uso para el lavado y limpieza de las áreas.

3.8 Proceso Enfriamiento de Marmitas

Para el agua de proceso de enfriamiento de las marmitas actualmente no se tienen especificaciones debido a que se emplea agua potable. Al analizar en conjunto los datos de agua de rechazo, agua potable y las especificaciones de agua industrial para equipos, se puede concluir que es viable usar agua de rechazo para el enfriamiento de las marmitas. Dentro de las observaciones se encontraron datos fuera de rango para la característica del hierro según especificación de agua potable, sin embargo, para características de agua industrial se recomienda 5ppm encontrándose dentro de esta especificación. Otra característica elevada son los sólidos disueltos totales, no obstante, éstos pueden encontrarse hasta 500ppm en agua potable (Ortiz, A 2018., Comunidad de Madrid 2013), sin embargo, para los análisis realizados no superaron los 400ppm.

En la siguiente tabla se resumen los hallazgos para la reutilización de agua de rechazo en los equipos y procesos seleccionados.

Tabla 10.

Resumen de equipos y procesos en los que es posible reemplazar agua potable por agua de rechazo.

Equipo / proceso	Apto el uso de agua de rechazo	Hallazgos
Calderas	SI	El agua de rechazo se puede usar en calderas y chillers ajustando previamente los requerimientos de agua de acuerdo a las especificaciones en los parámetros de alimentación, de la misma manera como debe ajustarse actualmente el agua potable para el ingreso a los equipos.
Chiller	SI	

PTARI	SI	Los procesos de lavado y limpieza del área no requieren especificaciones de agua de uso, por tanto, es viable el reemplazo de agua de agua potable por agua de rechazo.
Enfriamiento de marmitas	SI	Para este proceso no se requieren especificaciones de ingreso por tanto es viable usar agua de rechazo ya que se encuentra dentro de las especificaciones de agua potable y agua de rechazo. Adicionalmente, el agua en este proceso no se calienta, por tanto, no se tendrán los problemas como incrustaciones, depósitos de sólidos entre otros.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Al finalizar la fase de diagnóstico, fue posible identificar y definir los procesos y equipos Chiller, Calderas, Enfriamiento de marmitas y Lavado de áreas de PTARI, en los que se puede alimentar agua de rechazo sin alterar el funcionamiento de los procesos. Con esta información se realizará el diseño para la alternativa de reúso y se determinará la cantidad de agua de rechazo que puede enviarse a los procesos escogidos ahorrando esta misma cantidad en el ingreso de agua potable a la planta.

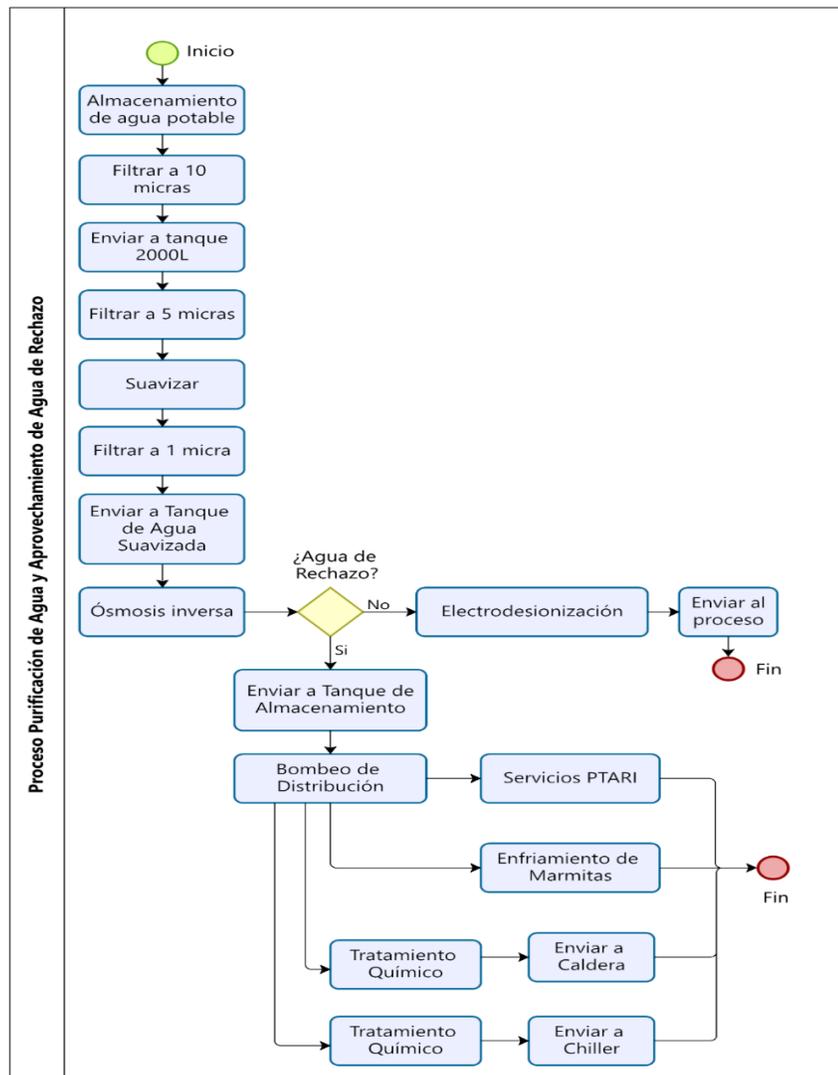
4. Diseño de la Propuesta Para la Reutilización Del Agua de Rechazo

En este capítulo se presenta el diseño propuesto para el sistema de reúso de agua de rechazo en la alimentación de los equipos de chiller y caldera, el proceso de enfriamiento de marmitas y para el lavado y limpieza de áreas en la PTARI. Para el desarrollo del diseño fue necesario realizar un balance de materia con el fin de determinar la demanda de agua en los procesos y equipos seleccionados y la cantidad generada de agua de rechazo. En el diseño se trazó un plano con las redes hidráulicas necesarias para comunicar y distribuir el agua de rechazo además del almacenamiento de esta para tener disponibilidad continua durante la jornada laboral. Con este diseño propuesto se realizó el cálculo de parámetros necesarios para la construcción del sistema, adicionalmente, se propuso la utilización de tecnologías de automatización industrial con el fin de controlar flujo y presión del sistema.

4.1 Diagrama de Flujo Del Sistema propuesto

Una vez identificados los equipos y procesos en los cuales se usará el agua de rechazo sin generar un riesgo para los mismos, se realiza el diagrama de flujo (figura 6) en Bizagi modeler donde se detalla el nuevo proceso y el sistema de distribución propuesto.

Figura 6. Flujo de proceso propuesto para la reutilización de agua de rechazo.



Fuente: Elaboración propia (2023)

En el foco de esta propuesta describe el nuevo flujo del agua de rechazo en donde se contemplan los procesos y equipos que aprovecharán el agua

El agua de rechazo generada por el sistema de ósmosis inversa pasará a un tanque de almacenamiento para su posterior bombeo a los servicios en PTARI, sistema de enfriamiento de marmitas, caldera y chiller según los requerimientos de la operación.

Los equipos de caldera y chiller en su proceso actual contemplan un tratamiento químico antes de su ingreso para llevar el agua a condiciones de los parámetros mínimos sugeridos por el proveedor con el fin de no alterar la integridad de sus componentes internos, este proceso al ser una etapa crítica se debe mantener en el flujo del diseño propuesto.

4.2 Balance de Materia

El balance de materia se realiza para determinar si la cantidad de agua de rechazo generada en el sistema de ósmosis inversa cubre los requerimientos actuales de alimentación de agua a los procesos y equipos seleccionados. Con este balance se define:

- Porcentaje de uso de agua de rechazo
- Disponibilidad para futuros procesos
- Capacidad del tanque de almacenamiento
- Porcentaje de ahorro de agua potable por reúso de agua de rechazo

Los datos tomados para realizar el balance de materia corresponden con el histórico de consumo de agua en la planta cosmética para el año 2022.

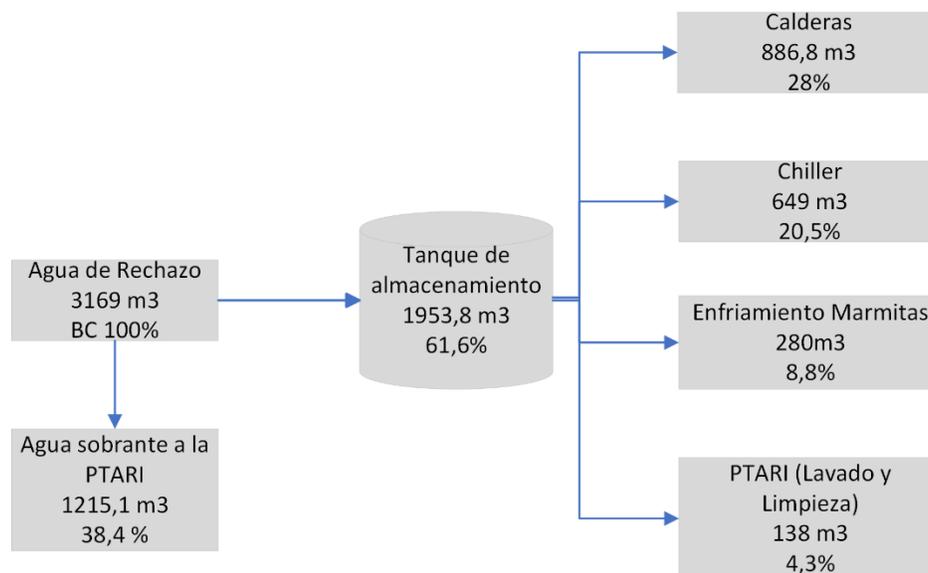
De los 19294m^3 que ingresan de agua potable, 10555m^3 se dirigen hacia el sistema de ósmosis inversa, en este proceso 7386m^3 se convierten en agua purificada y 3169m^3 corresponden al agua de rechazo generada.

El punto de partida para el balance es el agua de rechazo con una base de cálculo de 100% para los 3169m^3 cantidad generada en el periodo de un año; sobre esta base de cálculo se disponen los consumos de agua de los equipos y procesos escogidos.

Con este cálculo se determina la cantidad de agua de rechazo que se puede reutilizar y la cantidad de agua de rechazo que no puede aprovecharse y debe continuar hacia la PTARI. En la figura 7 se puede visualizar el esquema con los porcentajes de uso por cada proceso.

Figura 7

Esquema de distribución de agua de rechazo según requerimientos de los procesos industriales.



Fuente: Elaboración propia (2023)

Para determinar la capacidad del tanque de almacenamiento disponible con el fin de cubrir las necesidades de los procesos, se analizaron los datos históricos de consumo del año 2022 y se trabajó con el promedio por día debido a que los datos son variables en el tiempo, en la tabla 11 se presenta la información.

Tabla 11.

Consumos de agua en equipos y procesos industriales mensual para el reemplazo de agua potable para el año 2022.

Mes	Contador rechazo m ³ /mes	Contador chiller m ³ /mes	Contador PTARI m ³ /mes	Contadores enfriamiento marmitas m ³ /mes	Contador caldera m ³ /mes	Promedio consumo día m ³ /día
Enero	196	50	23	22	59,6	5,15
Febrero	158	68	14	31	58,1	5,70
Marzo	199	63	9	35	49,8	5,23
Abril	275	55	10	16	64,7	4,86
Mayo	265	50	12	23	55,3	4,68
Junio	226	49	13	20	51,8	4,46
Julio	223	42	11	5	50,4	3,61
Agosto	291	75	13	40	72,2	6,67
Septiembre	260	52	8	24	72,6	5,22
Octubre	529	40	14	11	117,7	6,09
Noviembre	212	38	5	25	52,3	4,01
Diciembre	335	67	6	28	182,3	9,44

Fuente: Elaboración propia (2023)

Analizando la información de la tabla, se toma como valor crítico el mayor consumo promedio del día, teniendo en cuenta que para asegurar la disponibilidad de agua de rechazo para los procesos debe contarse con una cantidad de agua que cubra el consumo de dos días para evitar el uso de agua potable y dar continuidad al proyecto; para esto se propone adquirir un tanque de 20 m³, capacidad estándar en el mercado.

En la siguiente tabla se reporta la distribución de agua potable que actualmente ingresa a la planta y se realiza la comparación con la distribución de agua potable y de rechazo en caso de implementarse la propuesta. Por último, se calculan los porcentajes de ahorro sobre la cantidad de agua potable que dejaría de consumirse al implementar el uso de agua de rechazo, basados en datos de 2022.

Tabla 12.

Comparación de consumos de agua actual y propuesto con la reutilización de agua de rechazo.

Tapa de proceso	Agua Potable m ³	Agua que va al sistema ósmosis inversa m ³	Agua procesos industriales m ³	Reúso de agua de rechazo m ³	Ahorro de agua potable en el ingreso m ³
Distribución de agua actual	19294	10555	8739	0	0%
Distribución de agua con el diseño propuesto	17340,2	10555	6785,2	1953,8	10,13%

Fuente: Elaboración propia (2023)

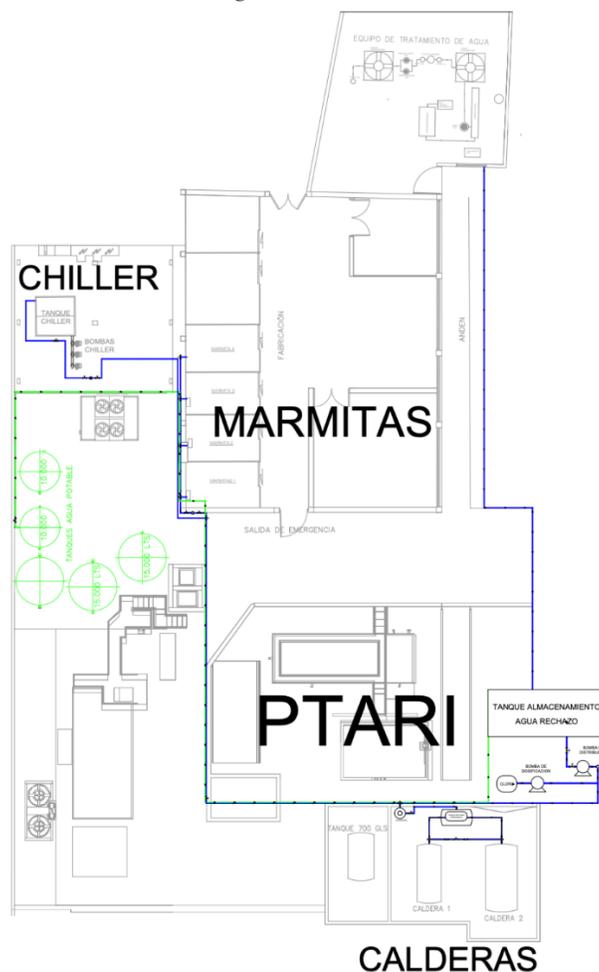
El porcentaje del ahorro de agua potable se puede extrapolar hacia el futuro como punto de partida, sin embargo, en caso de implementarse debe calcularse año a año de acuerdo con factores que afecten el crecimiento de la producción, instalación de máquinas nuevas, procesos adicionales que requieran agua, entre otros.

Del balance elaborado, se determina que del total de agua de rechazo generado en el sistema de ósmosis inversa 3169m³ el 61,6% del total de agua de rechazo (1953,8m³) puede recuperarse al emplearse en los procesos y equipos propuestos, evitando de esta manera el ingreso de agua potable para uso industrial. El 38,4% de agua de rechazo que no puede reusarse va a disposición final en la PTARI y queda como opción disponible para usarse en otros procesos que pueda implementarse a futuro.

4.3 Diseño de la Red Abastecimiento de Agua

Como parte de la solución se plantea una ruta de distribución de agua de rechazo para los procesos seleccionados. El área disponible con la que cuenta la empresa para ubicación de tanques de almacenamiento se encuentra cerca de las calderas y tiene un área de aproximadamente 20 m².

Figura 8.
Plano de la red de Distribución de agua de rechazo.



Fuente: Elaboración propia (2023)

El diseño propuesto del trazado en la figura 8 se describe la tubería en color azul para la distribución de agua de rechazo, ésta aprovecha las rutas existentes para soportar tubería y llegar a los puntos de consumo. Adicional, se incluye el trazado de abastecimiento de agua potable en las líneas de color verde desde los tanque de agua potable hacia el tanque de almacenamiento de agua de rechazo.

4.3.2 Requerimientos de Equipos y Materiales

De acuerdo con el diseño de la red de abastecimiento se realizó la lista de requerimientos para la instalación hidráulica del sistema. Dentro de los requerimientos más representativos de este diseño se encuentra la tubería como único medio de transporte de agua en el sistema. En este caso se debe calcular el diámetro de la tubería y analizar los accesorios que el sistema requiere para su buen funcionamiento.

Para el desarrollo de los cálculos que se van a realizar se tomaron en cuenta las recomendaciones de fabricantes de tubería que confirman información en el

comportamiento de sistemas de abastecimiento de agua potable. Dentro de las recomendaciones por el tipo de fluido que se va a transportar, que es agua, se define como material a utilizar el PVC. Este material no solo es ideal por el costo y calidad, sino que es un estándar en la empresa, en donde, todas las tuberías de agua potable están instaladas con PVC.

Otras de las recomendaciones que se siguieron corresponden a la presión la cual no debe exceder los 80 PSI, el diferencial de presión en la red que debe estar alrededor de 10 PSI y la velocidad de flujo que debe estar entre 1,5 y 3 m/s.

Los datos primarios que se obtienen de la revisión del diseño de la red de abastecimiento y con los cálculos de los numerales 4.2 y 4.3 se registra la siguiente información en la tabla 13.

Tabla 13

Datos primarios para diseño de red de abastecimiento.

Descripción	Cantidad
Caudal Promedio	5,3 m ³ /h
Longitud	80 m
Codos	14 und
Válvulas	5 und
Cheques	1 und
Tés	10 und

Fuente: Elaboración propia (2023)

El caudal promedio se obtiene de los datos del balance de agua de la tabla 11 calculando el promedio diario de consumo y el tiempo mínimo requerido para abastecer los diferentes servicios.

La longitud se calculó con la sumatoria de las distancias de los tramos de tubería que se presentaron en el diseño de la red de abastecimiento de agua.

Para el caso de los accesorios como codos, válvulas, cheques y tés se realizó el conteo de cada accesorio de acuerdo con el diseño de la red de abastecimiento de agua.

En el cálculo del diámetro de la tubería debe obtenerse primero la velocidad del agua a través del sistema, para esto se calculó a partir de la siguiente fórmula:

Ecuación 1. Velocidad del agua a través del sistema.

$$\Delta p = \frac{(\mu * l * v^2 * \rho * SG)}{2d} \quad \text{Ecuación 1.}$$

De donde se despeja la velocidad

$$v = \frac{(4\Delta P * \sqrt{Q})}{\mu * l * \rho * SG * \sqrt{(3600 * \pi)}}$$

Se reemplazan las variables con los datos de la siguiente forma:

$$v = \frac{(4 * 68947,6 * \sqrt{5,3})}{0,05 * 80 * 1000 * 1 * \sqrt{3600 * \pi}}$$

El resultado de la velocidad es:

$$v = 1,4925 \frac{m}{s}$$

Con el valor obtenido de velocidad se calcula el diámetro de la tubería mediante la siguiente fórmula:

Ecuación 2. Diámetro de la tubería.

$$d = \sqrt{\frac{Q_w}{3600v} \cdot \frac{4}{\pi}} \quad \text{Ecuación 2-}$$

Se reemplazan los valores:

$$d = \sqrt{\frac{5,3}{3600 \cdot 1,4925} \cdot \frac{4}{\pi}}$$

El resultado del diámetro para el cálculo de la tubería es:

$$d = 0,03543m = 35,43mm$$

Con el resultado del cálculo del diámetro de la tubería se busca el estándar de medidas que hay en el mercado nacional, tomando como referencia la marca PAVCO se encuentran las siguientes referencias:

Figura 9.

Figura para la selección de tubería para red de abastecimiento PAVCO.

Íconotec Sello de Calidad REG 0501		Íconotec Sello de Calidad NTC 382		Tuberías Presión PAVCO WAVIN				
Diámetro Nominal		Referencia	Peso	Diámetro Exterior Promedio		Espesor de Pared Mínimo		Diámetro Interior Promedio
mm	pulg.		g/m	mm	pulg.	mm	pulg.	mm
RDE 9 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 500 PSI								
21	1/2	2900266	218	21.34	0.84	2.37	0.09	16.60
RDE 11 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 400 PSI								
26	3/4	2900210	304	26.67	1.05	2.43	0.09	21.81
RDE 13.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 315 PSI								
21	1/2	2902449	157	21.34	0.84	1.58	0.06	18.18
33	1	2900213	364	33.40	1.31	2.46	0.09	28.48
RDE 21 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 200 PSI								
26	3/4	2900237	189	26.7	1.05	1.52	0.06	23.63
33	1	2900220	252	33.4	1.31	1.60	0.06	30.20
42	1.1/4	2900225	395	42.2	1.66	2.01	0.08	38.14
48	1.1/2	2902450	514	48.3	1.90	2.29	0.09	43.68
60	2	2902453	811	60.3	2.37	2.87	0.11	54.58
73	2.1/2	2900230	1185	73.0	2.87	3.48	0.14	66.07
88	3	2900233	1761	88.9	3.50	4.24	0.17	80.42
114	4	2900240	2904	114.3	4.50	5.44	0.21	103.42
168	6	2904616	5835	168.3	6.62	8.03	0.32	152.22
RDE 26 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 160 PSI								
60	2	2900246	655	60.3	2.37	2.31	0.09	55.70
73	2.1/2	2900248	964	73.0	2.87	2.79	0.11	67.45
88	3	2900251	1438	88.9	3.50	3.43	0.13	82.04
114	4	2900254	2376	114.3	4.50	4.39	0.17	105.52
168	6	2904617	4759	168.3	6.62	6.48	0.25	155.32
RDE 32.5 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 125 PSI								
88	3	2900256	1157	88.9	3.50	2.74	0.11	83.42
114	4	2900258	1904	114.3	4.50	3.51	0.14	107.28
RDE 41 PVC Presión de Trabajo a 23°C: 100 PSI								
114	4	2900261	1535	114.3	4.50	2.79	0.11	108.72

Para Tuberías de 8", 10", 12", 14", 16", 18" y 20" de diámetro véase nuestro Manual Técnico Unión Platino. La longitud normal de los tramos es de 6mt. La Tubería no debe roscarse.

Fuente: [Recuperado de <http://pavcowavin.com.co> (2020)]

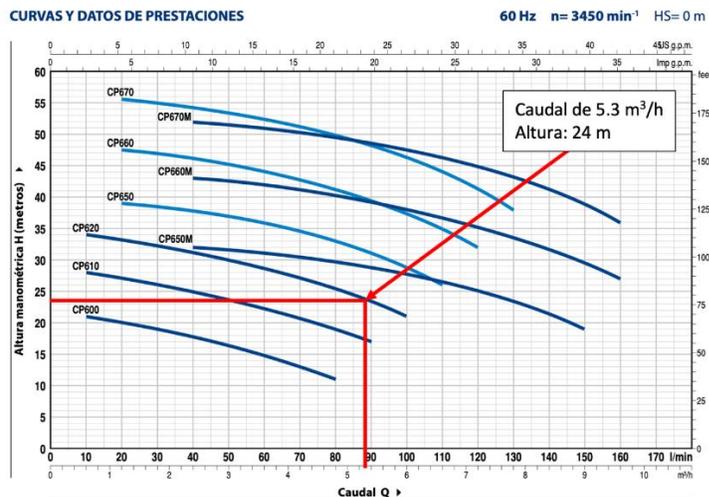
Con la medida calculada y la revisión de las medidas nominales se escoge la tubería de 1 ¼ de pulgada. Con esta medida se completaría el diseño hidráulico para poder ejecutar el proyecto.

4.3.1 Selección de Bomba

De acuerdo con los cálculos de caudal promedio y velocidad obtenidos en el numeral anterior se realiza la revisión del fabricante de bombas Pedrollo como referente de bombas para agua potable y de fácil acceso a nivel nacional. Para las electrobombas de la sección de caudal en los valores que se necesitan, se identifican los modelos CP. Estos modelos de bombas por sus características y con la información suministrada por el fabricante se puede determinar que son ideales para el tipo de agua que se necesita transportar.

Luego de identificar el modelo de bomba se hace la verificación de capacidad para obtener el tamaño requerido de acuerdo con el caudal. En la siguiente gráfica se muestra la sección en la que se encuentra la necesidad de bombeo de este proyecto.

Figura 10.
Diagrama para selección de Bomba.



Fuente: [Recuperado https://www.pedrollo.com.co/public/allegati/CP%200.372.2%20kW_ES_60Hz.pdf (2023)]

Teniendo en cuenta el caudal promedio de $5.3 \text{ m}^3/\text{h}$ se traza una línea vertical identificando la referencia CP620. Esta referencia ofrece una capacidad de 24m de altura, lo cual es suficiente para el proyecto.

De la figura 11 se identifica la potencia de 1 HP, 220V 3PH. Estas condiciones se revisaron en sitio en la planta cosmética. Confirmando la disponibilidad de energía y punto de conexión para este nuevo equipo.

Figura 11.

Identificación de la potencia de bomba.

MODELO		POTENCIA (P ₂)			Q	H metros															
Monofásica	Trifásica	kW	HP	▲		m ³ /h l/min	0	0.6	1.2	2.4	3.6	4.8	5.4	6.0	6.6	7.2	7.8	9.0	9.6		
						0	10	20	40	60	80	90	100	110	120	130	150	160			
CPm 600	CP 600	0.37	0.50	IE2	H metros	22	21	20	18	15	11										
CPm 610	CP 610	0.60	0.85			28.5	28	27	25	22	19	17									
CPm 620	CP 620	0.75	1			35	34	33	31	28.5	25.5	23.5	21								
CPm 650	CP 650	1.1	1.5			40	-	39	38	36	33.1	31.2	28.8	26							
CPm 660	CP 660	1.5	2	48		-	47.5	46	44	41	39.5	37.5	35	32							
CPm 670	CP 670	2.2	3	IE3		56	-	55.5	54.5	52.5	50	48.5	46.5	44	41.5	38					
CPm 650M	CP 650M	1.1	1.5			33	-	-	32	31	30	29	28	26.5	25	23	19				
CPm 660M	CP 660M	1.5	2			44	-	-	43	42	40	39	38	37	35.5	34	29.5	27			
CPm 670M	CP 670M	2.2	3			53	-	-	52	51	49.5	48.5	47.5	46.5	45	43.5	39	36			

Q = Caudal H = Altura manométrica total HS = Altura de aspiración

Tolerancia de las curvas de prestación según EN ISO9906 Grado 3B.

▲ Clase de rendimiento del motor trifásico (IEC 60034-30-1)

Fuente: https://www.pedrollo.com.co/public/allegati/CP%200.372.2%20kW_ES_60Hz.pdf (2023)]

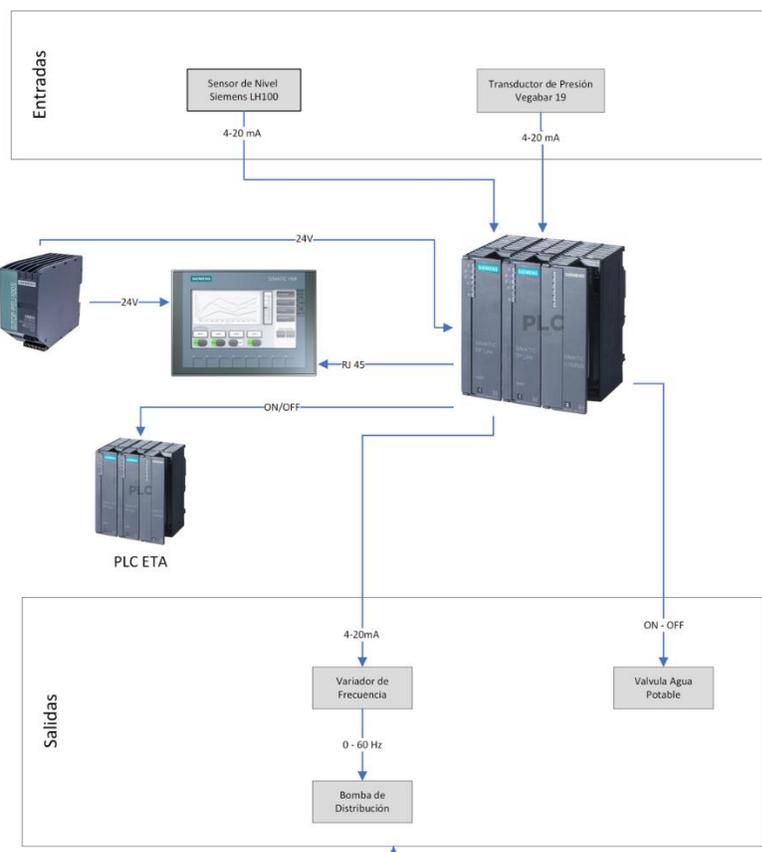
4.4 Automatización Del Sistema

La automatización para este sistema de agua de rechazo tiene varios beneficios y utilidades, el objetivo de automatizar es tener un control preciso y constante de los niveles de almacenamiento de agua de rechazo y del sistema de distribución, lo que ayuda a mantener una operación eficiente y optimizada.

En términos de necesidades de control, la automatización permite monitorear y controlar múltiples parámetros al mismo tiempo, lo que resulta en una operación más segura y confiable del sistema. Además, permite la toma de decisiones basadas en datos en tiempo real y la identificación temprana de problemas potenciales, o que ayuden a prevenir fallos y averías.

En la Figura 12 proceso de automatización se identifican las entradas y salidas por medio de la automatización con un sistema de control con un PLC (Controlador Lógico Programable) central para todos los procesos y una conexión al PLC del ETA (Controlador Lógico Programable del Equipo de Tratamiento de Agua) para el correcto flujo del agua de acuerdo con los niveles medidos por los sensores, esto mostrado en un HMI (Panel de Comunicación con Maquinaria).

Figura 12.
Proceso de automatización.



Fuente: Elaboración propia (2023)

De acuerdo con los niveles establecidos en los DCS (Sistemas de Control Distribuido) y lo establecido anteriormente para la automatización del proceso propuesto, se tendrán 3 niveles, los cuales son:

- Nivel 0: Este es el nivel más bajo y se refiere a los dispositivos y equipos que están directamente involucrados en los procesos. (Sensor de nivel, Transductor de presión, Variador de Frecuencia).
- Nivel 1: En este nivel se genera la monitorización y control de los dispositivos y procesos, el controlador PLC recibe y procesa las señales de los dispositivos mencionados en el nivel anterior, además, emite órdenes a estos. También, se encuentran los módulos de entradas y salidas, que se encargan de la comunicación entre los niveles. (PLC).
- Nivel 2: Este nivel se encarga de la gestión y supervisión de los procesos en tiempo real. En este nivel se permite la visualización y control de los procesos, a través de una interfaz gráfica, además, se permite el registro y almacenamiento de datos para su posterior análisis. (Comunicación, PLC con HMI).

En la siguiente tabla se muestra a detalle la función de los datos de entrada y salida para el proceso de automatización.

Tabla 14

Descripción detallada de los elementos requeridos para la automatización del proceso.

Descripción detallada de los datos	Origen de los datos	Destino de los datos	Utilidad de los datos
Señal de nivel de volumen de agua en el tanque	Sensor de Nivel	PLC	Permite controlar el nivel y cuantificar el agua de ingreso.
Señal de alarma	Variador de Frecuencia	PLC	Envío de alarmas que presente el sistema, Variador y/o Bomba.
Señal de presión para la red hidráulica	Transductor de presión	PLC	Permite controlar la presión y el encendido y apagado de la bomba de distribución.
Señal de ORP	Controlador ORP	PLC	Permite conocer la concentración de cloro en el agua y envía señal para adición de cloro a la tubería.
Señal de Datos	HMI	PLC	Permite la interacción entre el HMI y el PLC para visualización y parametrización de las opciones en el sistema.
Señal de Datos	PLC	HMI	Datos de los sensores y mediciones de las entradas y salidas.
Señal de Datos	PLC	Variador de Frecuencia	Control de frecuencia de acuerdo con la medición de presión.
Señal de Datos	PLC	PLC ETA	Registra información en tiempo real de nivel para abrir o cerrar el paso de agua para el tanque
Señal a bomba de cloro, voltaje para dosificación	PLC	Bomba de Cloro	Conforme se recibe la señal de ORP el PLC envía Señal a la bomba para dosificar el cloro.
Señal ON/OFF	PLC	Válvula potable agua	De acuerdo con en el nivel que tenga el tanque el PLC abre o cierra la válvula de agua potable para no dejar el sistema sin agua.

Fuente: Elaboración propia (2023)

Los hallazgos encontrados en este capítulo corresponden a la disponibilidad de agua, la selección de materiales, el diseño de la red hidráulica y los componentes para la automatización del sistema.

Una vez finalizada la etapa de diseño para proponer un trazado hidráulico capaz de reutilizar la mayor cantidad de agua de rechazo calculado mediante el balance de materia de los flujos de agua en la planta y de las necesidades de los procesos y equipos que se abastecerán, se logró determinar un ahorro de ingreso de agua potable a la planta del 10.13%, dato que representa un inicio para la concientización en reducir el uso de agua como recurso natural y seguir buscando opciones para la reutilización de la misma.

Adicionalmente, se diseñó la propuesta para automatizar el proceso con el fin de controlar el nivel de agua. Este control permitirá tomar decisiones al PLC para el nivel mínimo y que se abastezca de agua potable para los servicios, otro control consiste en el nivel máximo, para este caso se debe comunicar con el PLC del equipo de tratamiento actual y que el agua pase hacia la PTARI y así asegurar que no haya desbordamientos del tanque.

Finalmente, como resultado del desarrollo del capítulo de diseño se pudo determinar la viabilidad técnica para su instalación y buen funcionamiento en la planta cosmética empleando elementos de fácil asequibilidad.

5. Costos y Beneficios Económicos y de la Huella Hídrica

La gestión sostenible del agua es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta la industria en la actualidad. El suministro de agua de alta calidad es esencial para la producción de bienes y servicios, pero la creciente demanda y la disminución de los recursos hídricos disponibles plantean una amenaza para la sostenibilidad de las operaciones industriales. En este contexto, el uso del agua de rechazo generado por los sistemas de ósmosis inversa se ha convertido en una alternativa viable y eficiente para reducir la demanda de agua potable y disminuir los costos operativos.

5.1 Costos Asociados a la Implementación de la Propuesta

Para el presupuesto de costos del proyecto se tiene en cuenta los requerimientos de equipos y materiales y la mano de obra para instalación eléctrica, hidráulica y programación del sistema de automatización.

5.1.1 Costos de Materiales y Equipos

Una vez conocidas las cantidades de obra requerida para la construcción del sistema de distribución de agua de rechazo a los equipos y procesos seleccionados se realiza una cotización para determinar los costos asociados como se detalla en la tabla 15.

Tabla 15

Costos materiales y equipos para el diseño del sistema propuesto.

Material / Equipo	Marca	Referencia	Precio COP
Tubería	Pavco	PVC (80 metros)	\$2.500.000
Tanque	Colempaques	Polietileno de alta densidad (20000 Litros)	\$21.000.000
Cofre eléctrico	Rebra	60x40x25	\$ 500.000
Sensor de nivel	Siemens	Sitrans LH100	\$ 2.527.560
Transductor de Presión	Vega	Vegabar 19	\$ 913.500
PLC	Siemens	S7-1200	\$1.734.050
Módulo análogo	Siemens	SM1234	\$ 2.621.150
ORP	Mettler Toledo	M200	\$ 3.150.000
ORP sonda	Mettler Toledo	Inpro4260i	\$ 3.532.500
HMI	Siemens	KTP400	\$ 1.650.000
Variador de frecuencia	Siemens	G120X	\$ 3.781.969
Bomba de dosificación de cloro	Seko	AKS603	\$ 2.165.228
Bomba de distribución	Pedrollo	CP 620 - 1HP - 220V	\$ 1.324.900
Válvula de agua potable	SPK	2W160-15	\$ 150.000
Accesorios (Válvulas, Cheques, Tees, Codos, Uniones)	Pavco		\$ 460.000
Cableado eléctrico y de control de datos			\$ 2.700.000
TOTAL			\$50.710.857

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.1.2 Costos de Mano de Obra para Instalación y Programación

Con proveedores que la empresa tiene vehículo comercial vigente, se realiza la cotización del costo de la mano de obra requerida para la instalación de la red hidráulica y eléctrica que se estima que tenga una duración de 4 días y un valor de \$ 6.500.000.

Adicional, es necesario la contratación de los servicios profesionales de un ingeniero con las competencias para la configuración y programación de los equipos del sistema de automatización que para la propuesta tendría un costo de \$ 3.000.000.

El total del costo de mano de obra sería de \$ 9.500.000, como se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 16.

Costos asociados a mano de obra de instalación y programación.

Mano de Obra	Costo de Mano de Obra COP
Instalación Eléctrica	\$ 2.700.000
Instalación Hidráulica	\$ 3.800.000
Total Instalación	\$ 6.500.000
Programación Equipos de Automatización	\$ 3.000.000
Costo Total de Mano de Obra	\$ 9.500.000

Fuente: Elaboración propia (2023)

5.2 Costos de Operación

Los costos de operación de la entrada de este nuevo diseño están relacionados al consumo de energía eléctrica del sistema de bombeo que está asociada a la red de distribución hacia los equipos y procesos que reutilizarán el agua de rechazo. Sin embargo, actualmente la red de distribución hacia estos mismos procesos también cuenta con una red hidráulica que se alimenta de agua potable por lo cual no genera un incremento en los costos operativos. El costo que contempla la operación sería el relacionado al mantenimiento requerido según las rutinas de cuidado de equipo definidas por la empresa que estima genere un costo anual de \$1.000.000.

5.3 Beneficios

Los beneficios de esta propuesta se dividen en dos tipos:

- El primero en términos económicos y medido por el ahorro relacionado con la reducción de consumo de agua potable y los costos de tratamiento de agua de rechazo para disposición final.
- El segundo relacionado con la propuesta de la medición de un ecoindicador que permita generar una reducción de consumo de agua para fortalecer las bases de la medición de huella hídrica y su alineación con los objetivos de desarrollo sostenible.

5.3.1 Beneficios Económicos

Se realiza el cálculo de estimación de costos evitados relacionados con el tratamiento de agua de rechazo para disposición final y la disminución en el consumo de agua potable.

Como se revisó en el capítulo anterior, el balance de materia determinó el volumen de agua de rechazo a reutilizar, partiendo de un ingreso anual aproximado de 19300 m³ de agua a la planta, del cual se generan 3169 m³ de agua de rechazo que actualmente se desechan a través de la PTARI. Luego de diseñar la propuesta se estima una reutilización del 61,6% de agua de rechazo con un consumo de 1953,8 m³ en los procesos industriales. Es este el volumen de agua que se evitaría tratar en la PTARI para su disposición final al disponerse para otros usos. Según la información del proceso el costo de tratamiento por metro cúbico de agua es de \$ 5.800, generando un ahorro total de \$ 11.327.400 como se presenta en la tabla 16.

Tabla 17

Ahorro anual por tratamiento de agua de rechazo al ser reutilizada.

Reúso de agua de rechazo m ³	Costo de tratamiento PTARI [\$/m ³]	Ahorro anual
1953,8	\$ 5.800	\$ 11.327.400

Fuente: Elaboración propia (2023)

Sumado al ahorro anterior, el volumen de agua de rechazo representa un ahorro en el consumo de agua potable ya que se evita el paso directo de agua potable a los procesos industriales, con la propuesta se presenta una reducción del 10,13% del ingreso total de agua potable. Para calcular el ahorro se toma como referencia el costo del metro cúbico (m³) de la tarifa del servicio público actual de uso industrial del municipio de Cundinamarca donde se encuentra ubicada la planta de producción.

Como parte de la tarifa del servicio público se debe tener en cuenta tanto la tarifa del acueducto como la del alcantarillado que es cobrado con base en los m³ consumidos. La siguiente tabla muestra los ahorros por reducción de consumo de agua potable.

Tabla 18

Ahorro anual por reducción de ingreso de agua potable.

Tarifa	Reúso de agua de rechazo m ³	Costo factura agua [\$/m ³]	Ahorro anual
Acueducto	1953,8	\$ 2.546,69	\$ 4.975.722
Alcantarillado	1953,8	\$1.351,77	\$2.641.088

Fuente: [Construido por autores a partir de tarifa del municipio de Cundinamarca](2023)

5.3.2 Beneficios en Reducción de Huella hídrica y Sostenibilidad ambiental

Más allá de los beneficios económicos las empresas actualmente apuestan a un desarrollo sostenible de sus actividades, manteniendo su crecimiento en productos para venta, pero reduciendo el uso de recursos principalmente los naturales con el propósito de ser empresas ambientalmente responsables.

La planta cosmética actualmente no cuenta con certificación en huella hídrica. Sin embargo, entre sus focos se encuentra los temas de la sostenibilidad y uso responsable del agua. Con el fin de tener una medición para la obtención de datos sobre los que se pueda tomar decisiones de mejoramiento continuo, se propone un ecoindicador para impulsar el

desarrollo de proyectos al interior de la planta cosmética permitiendo medir el ahorro de consumo de agua y reducir la huella hídrica.

La propuesta del ecoindicador consiste en relacionar los m³ de agua consumidos al mes por cada 1000 unidades de producto terminado que se fabriquen.

Ecuación 3. Ecoindicador de agua.

$$\text{Ecoindicador de agua} = \frac{\text{Agua consumida en la operación}}{\text{unidades de producto terminado}} * 1000 \quad \text{Ecuación 3}$$

Como parte de los indicadores de productividad de la planta y con el fin de realizar seguimiento y control del manejo de agua, se presentan los resultados para el año 2022 y se proyecta un ecoindicador con la implementación de este proyecto. Los datos calculados para los ecoindicadores se pueden visualizar en la siguiente tabla.

Tabla 19

Ecoindicador para control y seguimiento de uso razonable de agua.

Descripción	Valor
Unidades de PT 2022	14.782.677
Cantidad de agua potable consumida	19.294 m ³
Resultado Ecoindicador para 2022	1.30m ³ /1000unidades
Ecoindicador con la proyección del ahorro	1.17m ³ /1000unidades

Fuente: Elaboración propia (2023)

Se puede identificar que la implementación del proyecto generaría un ahorro de 0.12 m³ por cada mil unidades producidas. Este factor incentiva el control y propone nuevas metas para la reducción de consumo de agua. Así, alineados con las tendencias mundiales este ecoindicador fortalece las bases para la medición de huella hídrica en la planta cosmética.

Sumado a lo anterior, en el 2015 en la *Cumbre de las Naciones Unidas para el desarrollo sostenible*, se definieron 17 objetivos de desarrollo sostenibles partiendo entre otras de la siguiente premisa: “El lento crecimiento económico mundial, las desigualdades sociales y la degradación ambiental que son característicos de nuestra realidad actual presentan desafíos sin precedentes para la comunidad internacional. En efecto, estamos frente a un cambio de época: la opción de continuar con los mismos patrones de producción, energía y consumo ya no es viable, lo que hace necesario transformar el paradigma de desarrollo dominante en uno que nos lleve por la vía del desarrollo sostenible, inclusivo y con visión de largo plazo”.

Tal como se define en esta introducción de los ODS el mundo de hoy se encuentra en búsqueda de nuevas formas de desarrollo de las actividades económicas con responsabilidad social y ambiental. La propuesta presentada en este proyecto se alinea a 2 de los objetivos de desarrollo sostenible y se define la contribución de la empresa en el alcance de las metas definidas al 2030, como se presenta en la tabla 20.

Tabla 20

Beneficios sobre los objetivos de desarrollo sostenible enfocados al uso razonable del agua y su impacto sobre la propuesta de diseño.

Objetivo de Desarrollo Sostenible	Meta de los ODS	Impacto de la propuesta
-----------------------------------	-----------------	-------------------------

#6. Garantizar la disponibilidad y la gestión sostenible del agua y el saneamiento para todos

6.3: De aquí a 2030, mejorar la calidad del agua reduciendo la contaminación, eliminando el vertimiento y minimizando la emisión de productos químicos y materiales peligrosos, reduciendo a la mitad el porcentaje de aguas residuales sin tratar y aumentando considerablemente el reciclado y la reutilización sin riesgos a nivel mundial

6.4: De aquí a 2030, aumentar considerablemente el uso eficiente de los recursos hídricos en todos los sectores y asegurar la sostenibilidad de la extracción y el abastecimiento de agua dulce para hacer frente a la escasez de agua y reducir considerablemente el número de personas que sufren falta de agua

12.3: De aquí a 2030, lograr la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales

12.5: De aquí a 2030, reducir considerablemente la generación de desechos mediante actividades de prevención, reducción, reciclado y reutilización

Un objetivo de esta propuesta es disminuir la disposición de agua de rechazo al alcantarillado por su reúso a equipos y sistemas que no representan un riesgo en la operación al mismo tiempo que se reduce el consumo de agua potable para operar.

El agua que se deja de consumir en la planta cosmética representa la disponibilidad de 78 personas estrato 1 que pueden acceder a este recurso durante un año, según los indicadores de consumo de agua y energía 2020 de la secretaría de planeación de Bogotá.

#12. Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles

Se busca ser más eficientes, mantener los niveles de producción con menos consumo de recursos en este caso de agua potable.

Se busca un sistema de ciclo cerrado que reduce la generación de desperdicio de agua y por el contrario ese desperdicio bajo la iniciativa de economía circular se aprovecha en los procesos.

12.6: Alentar a las empresas, en especial las grandes empresas y las empresas transnacionales, a que adopten prácticas sostenibles e incorporen información sobre la sostenibilidad en su ciclo de presentación de informes.

La planta cosmética objeto de este trabajo de grado realiza informe de sus avances en temas de sostenibilidad en su página web, la puesta en operación de la propuesta sería reportado en los resultados con el compromiso ambiental.

Fuente: [Construida por los autores a partir Naciones Unidas (2018) recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf] (2023)

5.4 Análisis de Viabilidad

Con base en los costos de implementación, los beneficios capturados y la vida útil del proyecto que se estima en 10 años de acuerdo con la valoración de la empresa, se realiza un análisis financiero para determinar su viabilidad.

En la siguiente tabla se detallan los flujos netos anuales durante la vida útil del sistema. En el año cero se presenta el valor de los costos requeridos para la construcción y puesta en marcha del sistema y para los siguientes 10 años el flujo neto estaría relacionado con los ahorros anuales estimados en la sección 5.3.1 y los costos anuales asociados al mantenimiento estimados en un millón de pesos de acuerdo con el plan de las rutinas para el cuidado de equipo definidas por la empresa y se deja el valor constante:

Tabla 21

Flujos anuales en Millones de pesos

Millones COP / Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor neto anual	-\$ 60	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18

Fuente: Elaboración propia (2023)

A partir de los flujos netos anuales se calcula el valor presente neto tomando una tasa de oportunidad del 15% (WACC brindado por la empresa), la tasa interna de retorno y el *payback* del proyecto con el cual se definirá su viabilidad a nivel financiero.

Para el cálculo del Valor Presente Neto se realiza a partir de la siguiente ecuación y para el proyecto da un beneficio de 29,9 millones de pesos durante su vida útil estimada.

Ecuación 4. VPN

$$VPN = -Flujo\ Neto_0 + \sum_{t=1}^{10} \frac{Flujo\ Neto_t}{(1+i)^t} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$VPN = \$ 29.870.274$$

Para el cálculo de la Tasa Interna de Retorno (TIR) se utiliza la siguiente fórmula, donde el valor a calcular es el interés con el que el VPN es igual a 0:

Ecuación 5. TIR

$$TIR = -Flujo\ Neto_0 + \sum_{t=1}^{10} \frac{Flujo\ Neto_t}{(1+i)^t} = 0 \quad \text{Ecuación 5}$$

$$TIR = 27,10\%$$

Finalmente, se realiza el cálculo del *payback* para determinar el tiempo que toma el proyecto en recuperar su inversión, partiendo de los flujos que se presentan en tabla 21 el tiempo en el que retornaría la inversión sería 3 años y 4 meses como se ilustra en la figura 13:

Figura 13.

Inversión y flujos anuales hasta la recuperación de la inversión



Fuente: Elaboración propia (2023)

Dado que el VPN es mayor a cero se confirma la viabilidad del proyecto el cual recuperaría su inversión en 3 años y 2 meses.

Sumado a lo anterior la empresa obtendría una disminución de su huella hídrica que como se presentó está alineado a los objetivos de desarrollo sostenible y la apuesta de las empresas de ser ambientalmente responsables.

5.5 Análisis de Viabilidad Mejorado

Se realiza una revisión de materiales y equipos con los que cuenta la empresa en otros procesos que se puedan ser reutilizados y así reducir los costos de implementación, mejorando el análisis financiero.

Se identifican los siguientes equipos que hacían parte de otros procesos que hoy no se están usando pero que servirían para el proyecto:

- Tanques de fibra de vidrio
- Cofre eléctrico
- PLC
- HMI
- Módulo análogo

Así la nueva tabla de costos de materiales y equipos sería la siguiente:

Tabla 22

Costos materiales y equipos reutilizados para el diseño del sistema propuesto.

Material / Equipo	Precio COP
Tubería	\$2.500.000
Tanque	Reutilizado

Cofre eléctrico	Reutilizado
Sensor de nivel	\$2.527.560
Transductor de Presión	\$ 913.500
PLC	Reutilizado
Módulo análogo	Reutilizado
ORP	\$3.150.000
ORP sonda	\$3.532.500
HMI	Reutilizado
Variador de frecuencia	\$3.781.969
Bomba de dosificación de cloro	\$ 2.165.228
Bomba de distribución	\$1.324.900
Válvula de agua potable	\$ 150.000
Accesorios (Válvulas, Cheques, Tees, Codos, Uniones)	\$ 460.000
Cableado eléctrico y de control de datos	\$2.700.000
TOTAL	\$23.205.657

Fuente: Elaboración propia (2023)

Y en la revisión de los costos de mano de obra, se identifica que con el equipo interno o planta de personal actual de la empresa se puede realizar la instalación eléctrica y la programación de los equipos de automatización, generando así un costo de mano de obra de \$3.800.000 asociado a la instalación hidráulica.

En la siguiente tabla se detallan los flujos netos anuales mejorados por reutilización de materiales durante la vida útil del sistema:

Tabla 23

Flujos anuales en Millones de pesos con los costos mejorados por reutilización de materiales

Millones COP / Años	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Valor neto anual	-\$ 27	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18	\$ 18

Fuente: Elaboración propia (2023)

A partir de los flujos netos anuales de la tabla 23 se calcula el nuevo valor presente neto tomando una tasa de oportunidad del 15% (WACC brindado por la empresa), la tasa interna de retorno y el payback del proyecto con el cual se definirá su viabilidad a nivel financiero.

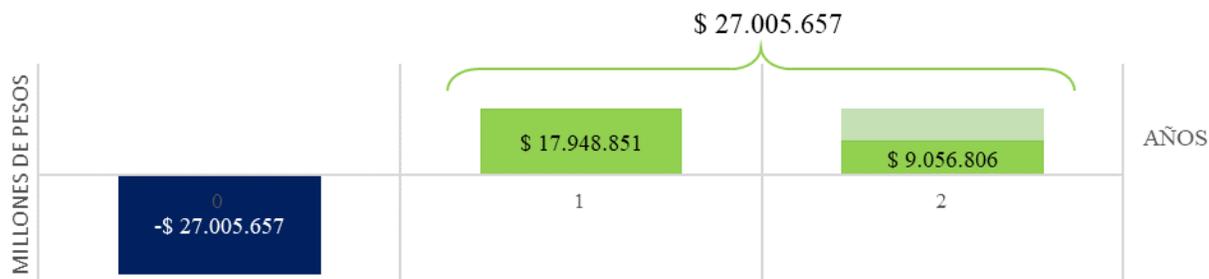
$$VPN = \$ 63.075.470$$

$$TIR = 66,05\%$$

Finalmente, se realiza el cálculo del payback con los costos mejorados por reutilización de materiales, en la figura 14 se evidencia el tiempo de recuperación de la inversión en 1 año y 6 meses:

Figura 14.

Inversión optimizada y ahorros para el cálculo del retorno de la inversión en pesos



Fuente: Elaboración propia (2023)

Con la reutilización de equipos, materiales y mano de obra con la que cuenta actualmente la empresa se mejora el beneficio del VPN en aproximadamente 33 millones, la TIR tiene un incremento del 144% comparada con la TIR inicialmente calculada y el tiempo de recuperación de la inversión pasa de 3 años y 4 meses a 1 años y 6 meses.

En el análisis financiero y de sostenibilidad ambiental se evidenció la viabilidad económica del proyecto, su implementación generaría para la empresa un beneficio económico calculado por el valor presente neto estimado en 63 millones de pesos durante la vida útil del sistema, una tasa interna de retorno del 66% mayor a la tasa de oportunidad por lo que sería una buena alternativa de inversión y un tiempo de recuperación de la inversión muy corto estimado de 1 año y 6 meses en el escenario de costos mejorados por la reutilización de materiales, equipos y mano de obra. Adicional a los beneficios en sostenibilidad ambiental medidos por la reducción del consumo de agua potable en fabricación y disminución del desperdicio del agua de rechazo que generaría la implementación de la propuesta.

6. Conclusiones

Para el caso de estudio en la planta cosmética, con el diseño de la propuesta se logró una reutilización de 1953,8 m³ de agua de rechazo lo que genera un ahorro de 10,13% de agua potable. Con los datos obtenidos se confirma la viabilidad en cada etapa que requiere agua de rechazo del sistema de purificación para uso en procesos y equipos industriales donde actualmente se utiliza agua potable.

Esta cantidad de agua representa el consumo anual de 78 personas en Colombia. Como primer paso, esta cantidad de agua representa un motivo importante para el desarrollo como empresa ambientalmente responsable y sostenible y estaría alineado con los objetivos de desarrollo sostenible de la ONU.

El volumen de agua que se proyecta ahorrar se evaluó con base en normatividades y un exhaustivo análisis de riesgos que dio como resultado conformidad y alcance técnico factible.

En el diseño propuesto se evaluó la cantidad de agua requerida para los equipos y procesos seleccionados (Chiller, Calderas, Enfriamiento Marmitas y Lavado de áreas en PTARI), a partir de la disponibilidad de agua de rechazo. Con el anterior cálculo se seleccionaron espacios, equipos y materiales apropiados para la distribución del agua. Dentro del diseño y la selección de equipos se buscó tener un proceso automatizado para el fácil y adecuado control de la operación.

En relación con el análisis financiero y de sostenibilidad ambiental se puede concluir el impacto positivo que tendría la implementación de esta propuesta y tomaría inicialmente 3 años y 2 meses en recuperar la inversión. Los indicadores financieros mejorarán con el uso de equipos disponibles que se reutilizarían de otros procesos reduciendo en aproximadamente 2 años el retorno de la inversión.

Por último, en términos ambientales la propuesta incluye la formulación de un ecoindicador que evalúa el consumo de agua requerida por cada 1000 unidades de producto. La implementación de la propuesta generaría un ahorro estimado de 0,12 m³ por cada 1000 unidades de productos fabricados y daría una línea base para la medición de la huella hídrica en la planta de estudio.

7. Recomendaciones

Con el diagnóstico realizado y la evaluación técnica y económica de la propuesta se recomienda su implementación la cual genera beneficios económicos y ambientales sostenibles para la empresa.

Durante el primer año de implementación de la propuesta es importante realizar muestreos fisicoquímicos para controlar que el agua de rechazo se mantenga en las condiciones evaluadas.

Evaluar la viabilidad de tratar el agua de rechazo que posterior a este diseño queda disponible para el uso en otros procesos donde esta propuesta en el análisis de riesgo no fue factible implementar.

Se recomienda la automatización del proceso para un control de fácil operación y que garantice el abastecimiento de agua a los procesos y equipos seleccionados.

Por último, se recomienda la implementación del ecoindicador con metas anuales que motiven proyectos para el ahorro de consumo de agua y promuevan el desarrollo del proceso para la certificación de huella hídrica.

Referencias

- Alcaraz, Yves (2017) Análisis y control de aguas en torres de refrigeración y planta de tratamiento de aguas residuales. Universidad Politécnica de Cartagena
- Alfaro y Rojas (2006) Validación de los métodos de filtración por membrana y sustrato definido Readycult, para detención de coliformes totales y Escherechiacoli en aguas crudas, tratadas y potables en el acueducto de Zipaquirá. Recuperado de: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis271.pdf>
- Benítez, D., Duarte. G (2020) Propuesta para el aprovechamiento de agua de rechazo de un sistema de ósmosis inversa utilizada en una empresa de refrigerantes automotrices ubicada en Zipaquirá, Cundinamarca. Universidad de la Salle
- Cardona, D (2011) Caracterización del agua cruda del rio La Vieja como fuente superficial para el proceso de potabilización de Ecartago S.A. E.S.P. Universidad Tecnológica de Pereira
- Carrillo y Lozano (2008) Validación de detención de coliformes totales y fecales en agua potable utilizando Agar Chromocult. Recuperado de: <http://www.javeriana.edu.co/biblos/tesis/ciencias/tesis203.pdf>
- Comunidad de Madrid (2013) Guía básica calderas industriales eficientes. Fenercom
- Chaves, J (2021) Tratamiento de aguas residuales de la industria cosmética mediante electrocoagulación. Universidad Nacional de Colombia
- Departamento nacional de planeación. <https://www.dnp.gov.co/programas/vivienda-agua-y-desarrollo-urbano/Paginas/Agua-Normatividad--.aspx>
- Ecología verde. <https://www.ecologiaverde.com/que-son-las-aguas-residuales-y-como-se-clasifican-1436.html>
- Empresas públicas de Medellín. <https://www.grupo-epm.com/site/portals/23/documentos/Boletines/ABC-%20Calidad%20de%20Agua.pdf>
- Escobar, M., Tovar, L. y Romero, J. Diseño de un sistema experto para utilización de aguas residuales tratadas. Ciencia e Ingeniería Neogranadina; 2016, Vol. 26 Issue 2, p21-34, 14p
- Flores, C. (2012) Validación del sistema de purificación de agua: ósmosis inversa “MILLI – RX45” de la empresa Farbiovet S.A. Facultad de ciencia e ingeniería en alimentos. Universidad Técnica de Ambato.
- Cuartas, J (2022) Una belleza! Mercado de cosmética y aseo registró un crecimiento de 3,8% <https://forbes.co/2022/10/05/negocios/una-belleza-mercado-de-cosmetica-y-aseo-registro-un-crecimiento-de-38/>
- Iriarte, R. (2020) Nuevas tendencias en sistemas de purificación de aguas. Facultad de Ingeniería Agronómica Universitat Politècnica de València (ETSIAMN).
- Londoño, O (2013) Caracterización de parámetros microbiológicos y fisicoquímicos del sistema para producir agua desionizada tipo ii, en una industria cosmética. Universidad Militar Nueva Granada
- Ministerio del medio ambiente. <https://www.minambiente.gov.co/gestion-integral-del-recurso-hidrico/vertimientos-y-reúso-de-aguas-residuales/>
- Mordorintelligence (2022) <http://www.mordorintelligence.com/es/industry-reports/colombia-cosmetics-products-market-industry>

- Moreno (2011) Diseño de planta de tratamiento de agua de osmosis inversa para la empresa Dober Osmotech de Colombia Ltda. Recuperado de: <https://red.uao.edu.co/bitstream/handle/10614/3077/TBM00990.pdf;jsessionid=47D43B0CBE074E1D8B8B41B97CE18900?sequence=1>
- Naciones Unidas (2018), La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible: una oportunidad para América Latina y el Caribe. Recuperado de: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf
- Nazer, A., Guzmán, A. Bolados, L., González, L. Pavez, O. Uso de agua de rechazo de plantas depuradoras en la fabricación de hormigones. Obras y Proyectos; 2018, Issue 24, p21- 27
- Orozco, C. (2022) 10 Métodos de purificación de agua más usados más usados y efectivos. <https://filtrashop.com/10-metodos-de-purificacion-de-agua-mas-usados-y-efectivos/>
- Ortiz, A. (2018) Tratamiento de agua para alimentación de calderas. Instituto Politécnico Nacional. México.
- Peñaloza, N y Morales S (2019) Propuesta para la reutilización de agua de rechazo del proceso de ósmosis inversa del tratamiento de hemodiálisis en un hospital de tercer nivel. Universidad de la Salle.
- Pérez, J (2010) Características de la calidad del agua en la planta de tratamiento de agua y en la red de distribución de la ciudad de Yopal. Universidad Industrial de Santander.
- Revista cero grados (2017) Chillers, aspectos técnicos. BOHN, Ecochillers, Universidad Tecnológica Electromecánica y AHRI.
- Sanz (2007) Estudio de viabilidad de la reutilización de las aguas residuales depuradas de una planta petroquímica mediante tecnología de membrana
- Solis, M. (2017) Sistemas de tratamiento de agua mediante ósmosis inversa. Facultad de ingeniería. Universidad Autónoma de México.
- Sotto (2008) Aplicación de tecnología de membranas de nanofiltración y osmosis inversa para el tratamiento de disoluciones acuosas de compuestos fenólicos y ácidos carboxílicos
- Statista Research Department (2022). <https://es.statista.com/estadisticas/1304027/colombia-crecimiento-de-las-ventas-de-productos-de-belleza-e-higiene>.
- Universidad de Burgos, 2013. Manual de calderas industriales Vargas, F. (2018) Rehabilitación del sistema de ósmosis inversa de la UPIBI para la producción de agua de grado reactivo. Facultad de Ingeniería. Instituto Politécnico Nacional.

ANEXO 1. Matriz de ponderación de factores Selección de Procesos

Procesos y Equipos con requerimiento de agua potable																							
Factor	Ponderación (P) (%)	Cocina		Chiller		Caldera		Sanitarios y lavamanos de planta		Sanitarios y lavamanos de oficina		Laboratorio		Enfriamiento de marmitas		Lavado automático de tanques de almacenamiento		Lavaderos de fabricación		Lavado de equipos de envasado		Lavado áreas PTARI	
		Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV	Valor	PxV
Consumo humano	30	0	0	5	150	5	150	0	0	0	0	0	0	5	150	4	120	2	60	3	90	4	120
Volumen requerido	20	5	100	3	60	4	80	3	60	2	40	1	20	2	40	5	100	4	80	1	20	2	40
Contacto directo en la fabricación de productos	30	5	150	5	150	5	150	5	150	5	150	1	30	5	150	0	0	0	0	0	0	5	150
Facilidad de cambio del sistema de alimentación de agua	15	3	45	5	75	5	75	0	0	0	0	4	60	5	75	5	75	5	75	2	30	5	75
Distancia entre el proceso	5	1	5	5	25	5	25	2	10	4	20	2	10	5	25	5	25	4	20	1	5	5	25
TOTAL	100	300		460		480		220		210		120		440		320		235		145		410	

ANEXO 2 Matriz de riesgos para el uso de agua de rechazo en procesos industriales

Identificación y Evaluación del Riesgo												Control del Riesgo - Reducción del Riesgo
Sub-Proceso	Actividad / Etapa	Peligro/Fallas Potenciales	Efecto o Consecuencia del peligro o la falla	Severidad (S)	Causas de la Falla	Ocurrencia(O)	Controles preventivos de las causas de la falla	Detección (D)	NPR S*O*D	Nivel de Riesgo	Aceptación del Riesgo Dictamen Aceptado ó Rechazado	Acciones
Generación de agua de rechazo	Alimentación de agua para caldera	Características fuera de las especificaciones	Daño de tubería y accesorios de la caldera	3	Afectación de los materiales como incrustaciones, depósitos, corrosiones por presencia de elementos químicos	1	Análisis mensuales de caracterización de agua de caldera/ Ajuste de especificaciones	2	6	Bajo	Aceptado	Comparar especificaciones de ingreso de agua a caldera con la caracterización de agua de rechazo
		Cantidad insuficiente de alimentación de agua	Retrasos en producción por calentamiento ineficiente	2	Generación intermitente de agua de rechazo si se utiliza como único medio de alimentación	1	Rutinas diarias para verificación de presión, químicos de alimentación.	2	4	Bajo	Aceptado	
			Falta de generación de vapor	3		2	Rutina diaria /Control automático con agua potable/ Compra de agua potable por carrotanque	1	6	Bajo	Aceptado	

Identificación y Evaluación del Riesgo												Control del Riesgo - Reducción del Riesgo
Sub-Proceso	Actividad / Etapa	Peligro/Fallas Potenciales	Efecto o Consecuencia del peligro o la falla	Severidad (S)	Causas de la Falla	Ocurrencia(O)	Controles preventivos de las causas de la falla	Detección (D)	NPR S*O*D	Nivel de Riesgo	Aceptación del Riesgo Dictamen Aceptado ó Rechazado	Acciones
	Alimentación enfriamiento marmitas	Cantidad insuficiente de alimentación de agua	Falta de enfriamiento en máquina de producción	2	Generación intermitente de agua de rechazo si se utiliza como único medio de alimentación	2	Rutina diaria /Control automático con agua potable/ Compra de agua potable por carrotanque	2	8	Bajo	Aceptado	Caracterización de agua de rechazo para verificar si es posible el uso para el enfriamiento de marmitas
	Alimentación de agua a chiller	Fallas en el equipo.	Baja eficiencia de enfriamiento para producción	3	Características de agua de rechazo que afecten el buen funcionamiento del equipo	2	Mantenimiento periódico/ rutinas diarias de arranque	2	12	Medio	Aceptado	
		Cantidad insuficiente de alimentación de agua	Falta de enfriamiento en máquina de producción	2	Generación intermitente de agua de rechazo si se utiliza como único medio de alimentación	2	Rutina diaria /Control automático con agua potable/ Compra de agua potable por carrotanque	2	8	Bajo	Aceptado	
		Características fuera de las especificaciones	Daño del equipo a causa de especificaciones del agua de rechazo	3	Variabilidad en las características del agua de rechazo	1	Análisis mensuales de caracterización de agua de chiller / Ajuste de especificaciones	2	6	Bajo	Aceptado	Comparar especificaciones de ingreso de agua a chiller con la caracterización de agua de rechazo

Identificación y Evaluación del Riesgo												Control del Riesgo - Reducción del Riesgo
Sub-Proceso	Actividad / Etapa	Peligro/Fallas Potenciales	Efecto o Consecuencia del peligro o la falla	Severidad (S)	Causas de la Falla	Ocurrencia(O)	Controles preventivos de las causas de la falla	Detección (D)	NPR S*O*D	Nivel de Riesgo	Aceptación del Riesgo Dictamen Aceptado ó Rechazado	Acciones
	Alimentación de agua a PTARI	Cantidad insuficiente de agua para aseo	Incumplimiento en rutinas de aseo	1	Generación intermitente de agua de rechazo si se utiliza como único medio de alimentación	1	Control automático con agua potable/ Compra de agua potable por carrotaque	1	1	Bajo	Aceptado	

Riesgo	NPR	Dictamen	Prioridad de acciones
Bajo	1-9	Riesgo Aceptado	Baja. Acciones no necesarias para mitigar el riesgo. Opcional
Medio	10 - 18	Riesgo Rechazado	Media. Tomarse acciones a mediano plazo
Alto	19 - 27	Riesgo Rechazado	Alta. Deben tomarse acciones a corto plazo. Obligatorias

Valores de A,B,C,D,E definidos por el equipo en base al proceso a evaluar

Severidad		
Efecto	Valor	Descripción
Bajo	1	No afecta a los procesos críticos
Medio	2	Baja eficiencia en equipos de servicio de sistemas de apoyo crítico, retrasos en producción

Alto	3	Equipo fuera de uso. Afecta cumplimiento plan de Producción. Afecta la salud de las personas
------	---	---

Ocurrencia		
Ocurrencia	Valor	Descripción
Bajo	1	Ocurre entre 0 y una vez en un año
Medio	2	Ocurre de 2 a 3 veces en el año
Alto	3	Ocurre más de 3 veces en un año

Detección		
Detección	Valor	Descripción
Alta	1	Se detecta durante la planeación
Medio	2	Se detecta durante las pruebas preliminares
Bajo	3	Se detecta durante el desempeño y puesta en marcha del proyecto