



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TEMA:

**Estudio de reducción y mejoramiento del sistema de energía térmica de
una planta industrial-manufactura papelera**

AUTOR:

Sañay Aguirre Ermel Joel

**Trabajo de titulación previo a la obtención del grado de:
Magister en Electricidad con Mención en Energías Renovables y
Eficiencia Energética**

TUTOR:

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo, PhD

Guayaquil, Ecuador

28 de octubre del 2025



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA
CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente Trabajo de titulación de Maestría fue realizado en su totalidad por el Sr. **Sañay Aguirre, Ermel Joel**, como requerimiento para la obtención del Título de Magister en Electricidad con Mención En Energías Renovables y Eficiencia Energética.

TUTOR

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Ph.D.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo. Ph.D.

Guayaquil, 28 de octubre del 2025



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA

DECLARACIÓN DE RESPONSABILIDAD

Yo, Sañay Aguirre, Ermel Joel

DECLARO QUE:

El trabajo de Titulación **“Estudio de reducción y mejoramiento del sistema de energía térmica de una planta industrial-manufactura papelera”**, ha sido desarrollado respetando derechos intelectuales de terceros conforme las citas que constan en el documento, cuyas fuentes se incorporan en las referencias o bibliografías. Consecuentemente este trabajo es de mi total autoría.

En virtud de esta declaración, me responsabilizo del contenido, veracidad y alcance del Trabajo de Integración Curricular referido.

Guayaquil, 28 de octubre del 2025

EL AUTOR

Sañay Aguirre, Ermel Joel



UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL

SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA
AUTORIZACIÓN

Yo, Sañay Aguirre, Ermel Joel

Autorizo a la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil, la publicación, en la biblioteca de la institución del Trabajo de titulación de Maestría: **“Estudio de reducción y mejoramiento del sistema de energía térmica de una planta industrial-manufactura papelera”**, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y total autoría.

Guayaquil, 28 de octubre del 2025

EL AUTOR

Sañay Aguirre, Ermel Joel

REPORTE DE COMPILATIO

**INFORME DE ANÁLISIS**
magister

PF Ing. Sañay2 (1) (1) (1)

3%
Textos sospechosos

3% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas
3% Idiomas no reconocidos (ignorado)
10% Textos potencialmente generados por la IA (ignorado)

Nombre del documento: PF Ing. Sañay2 (1) (1) (1).docx
ID del documento: 42ec0804663d986ab850975bfc69c67e0ed8a937
Tamaño del documento original: 4,34 MB

Depositante: Ronnie Alexander Bonilla Sánchez
Fecha de depósito: 28/9/2025
Tipo de carga: interface
fecha de fin de análisis: 28/9/2025

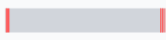
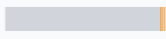
Número de palabras: 16.355
Número de caracteres: 113.301

Ubicación de las similitudes en el documento:



Fuentes de similitudes

Fuentes principales detectadas

Nº	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	 localhost Estudio de factibilidad del diseño de un sistema generación de energí... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/17882/3/T-UCSG-POS-MELE-3.pdf.txt 17 fuentes similares	2%		 Palabras idénticas: 2% (347 palabras)
2	 localhost Estudio del desempeño de un sistema de climatización invertir alimen... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/19016/4/T-UCSG-POS-MELE-4.pdf.txt 16 fuentes similares	2%		 Palabras idénticas: 2% (329 palabras)
3	 localhost Estrategias metodológicas en el área de Ciencias Naturales para una n... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/14176/3/T-UCSG-PRE-FIL-EP-145.pdf.txt 8 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (143 palabras)
4	 Avance Final_Tesis_Ariel Angulo_B2023.docx Avance Final_Tesis_Ariel ... #2c20ca Viene de de mi grupo 7 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (139 palabras)
5	 localhost Implementación de un brazo robótico que permite realizar movimient... http://localhost:8080/xmlui/bitstream/3317/11329/3/T-UCSG-PRE-TEC-IECA-88.pdf.txt 6 fuentes similares	< 1%		 Palabras idénticas: < 1% (127 palabras)

Certifico que después de revisar el documento final del trabajo de titulación “**Estudio de reducción y mejoramiento del sistema de energía térmica de una planta industrial-manufactura papelerá**”, presentado por el Ing. Sañay Aguirre, Ermel Joel, fue enviado al Sistema Anti plagio Compilatio, presentando un porcentaje de similitud correspondiente al (3%).

f. 
Ing. Bohórquez Escobar Celso Bayardo,

AGRADECIMIENTO

Agradezco a los directivos de la Facultad de Educación Técnica para el Desarrollo, de la misma manera que a todos mis profesores que han jugado un rol importante en mi formación de posgrado. Su pasión y su conocimiento en la enseñanza han sido de suma importancia para mi progreso como profesional y como estudiante.

En particular, quiero expresar mi gratitud al ingeniero Celso Bayardo Bohórquez Escobar. Ph.D, quien ha sido mi tutor durante todo el desarrollo y culminación de este trabajo de titulación. Su orientación experta y su apoyo incondicional han sido determinantes para alcanzar los objetivos propuestos en esta investigación.

A lo largo de todo este procedimiento, el ingeniero Bayardo Bohórquez Escobar.Ph.D., ha demostrado una dirección precisa y una asistencia constante, me dio muchos consejos de gran valor que completaron mi labor. Su entendimiento y su experiencia han sido una fuente sin fin de motivación para mí, me ha empujado a sobreponerme a los problemas y a conseguir una mayor superioridad en mi oficio.

También, deseo expresar mi agradecimiento a mis colegas y amigos que han venido apoyándome a lo largo del trayecto de estudio. Las palabras de estímulo y su ayuda han sido una fuente fundamental para continuar en situaciones de dificultad.

Además, deseo destacar el sustento inalterado de mi familia, en particular de mis padres, hermanas y allegados. Su amor y su aliento constantes me han dado la energía y el propósito para pelear por mi objetivo profesional y conseguir mi diploma de posgrado.

DEDICATORIA

El presente proyecto de titulación está dedicado de manera específica a Dios, quien es el motor y sustento de manera integral para llegar a culminar con éxito mi maestría. También, quiero expresar mi sincero agradecimiento a mi mamá, Aline Aguirre Vite, a mis hijos Ezequiel Sañay – Arelis Sañay – Sofía Sañay, y a mi esposa, por el apoyo incondicional en todo lo que me proponga.

También, deseo extender mi agradecimiento a todas las personas que me han brindado su sustento y han colaborado en mi trabajo. Específicamente, a aquellos que me han abierto sus puertas y han compartido sus valiosos conocimientos con el fin de complementar mi investigación. Todas estas personas han hecho parte de manera fundamental de la travesía de mis estudios, y su colaboración ha sido valiosa. Este triunfo no se habría logrado sin su sustento, estímulo y aliento continuos. De corazón, gracias a todos por hacer parte de este trayecto y por haberme regalado la seguridad para afrontar los problemas que hubo durante el viaje en dirección a mi meta.



**UNIVERSIDAD CATÓLICA
DE SANTIAGO DE GUAYAQUIL**

**SISTEMA DE POSGRADO
MAESTRÍA EN ELECTRICIDAD CON MENCIÓN EN ENERGÍAS
RENOVABLES Y EFICIENCIA ENERGÉTICA**

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

f. _____

ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO. Ph.D.

TUTOR

f. _____

ING. PEÑAFIEL OLIVO KETY JENNY, MGS

REVISOR

f. _____

ING. BOHORQUEZ HERAS DIANA CAROLINA, MGS

REVISOR

f. _____

ING. BOHÓRQUEZ ESCOBAR, CELSO BAYARDO. Ph.D.

DIRECTOR DEL PROGRAMA

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	XI
INDICE DE TABLAS	XII
RESUMEN.....	XIII
CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES	4
1.1 Justificación del Problema	4
1.2 Antecedentes	5
1.3 Definición del Problema	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 Objetivo general.....	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
1.5 Hipótesis.....	8
1.6 Metodología de Investigación	9
CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	11
2.1 Osmosis Inversa	11
2.2 Aplicaciones de ósmosis inversa	13
2.3 Ósmosis inversa en la industria	16
2.4 Limitaciones de ósmosis inversa	18
2.5 Desafíos asociados con el uso de la ósmosis inversa	20
2.6 Riesgos potenciales de utilizar ósmosis inversa	22
2.7 Nuevos avances en la ósmosis inversa	23
2.8 Minimizar el costo de la ósmosis inversa	25
2.9 Integración de sistemas híbridos y dispositivos de recuperación de energía	27
2.9.1 La estrategia híbrida descansa sobre tres ejes principales:	28
2.10 Estrategias antifouling, mantenimiento y prolongación de la vida útil de membranas.	29
2.10.1 Principales mecanismos de deterioro:.....	29
2.11 Evaluación económica y análisis de ciclo de vida (LCA)	30
2.11.1 Aspectos económicos fundamentales:	31

CAPÍTULO 3: ENERGÍA TÉRMICA	33
3.1 Energía térmica	33
3.1.1 Producción de la energía térmica y sus fuentes de origen.....	34
3.2 Rentabilidad de las medidas de eficiencia energética.	36
3.3 Incentivos y regulaciones que fomentan la eficiencia energética.	38
3.4 Eficiencia energética en industrias: beneficios económicos y ambientales	39
3.5 Determinar la rentabilidad de las medidas de eficiencia energética.	41
3.6 Incentivos y regulaciones se pueden utilizar para fomentar la adopción de medidas de eficiencia energética.	43
3.7 Medidas de eficiencia energética al consumo energético de las industrias.	44
3.8 Beneficios económicos y ambientales de la eficiencia energética.....	45
3.9 Desafíos para la implementación efectiva de medidas de eficiencia energética.	47
CAPÍTULO 4: APORTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	48
4.1 Aporte conceptual: una relectura del ósmosis inversa	48
4.1.1 ¿Cuál es el rol que desempeña la ósmosis inversa?	48
4.2 Aporte metodológico: enfoque híbrido aplicado.	49
4.2.1 Dimensión cuantitativa: los números que hablan:.....	49
4.2.2 Dimensión cualitativa: las voces que sostienen el cambio	50
4.3 Aporte técnico: modelo replicable de integración energética.....	51
4.4 Aporte contextual: propuesta pensada desde Guayaquil	51
4.5 Aporte estratégico: puente entre sectores.....	52
CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACIÓN ESTRATÉGICA DE LA ÓSMOSIS INVERSA PARA LA EFICIENCIA TÉRMICA INDUSTRIAL EN GUAYAQUIL	53
5.1 Introducción: del diagnóstico a la acción.....	53
5.2 Modelo de integración de ósmosis inversa con recuperación térmica....	53
5.2.1 Esquema técnico propuesto	53
5.2.2 Componentes principales:.....	54
5.3 Unidad de control y monitoreo digital	56
5.4 Cronograma de implementación sugerido.....	57

5.4.1 Resultados proyectados: simulación de escenarios	57
5.4.2 Factores críticos de éxito y barreras	58
5.4.3 Sostenibilidad, Escalabilidad y Replicabilidad	59
5.5 Propuesta de indicadores para evaluación del sistema.....	59
CONCLUSIONES	61
RECOMENDACIONES.....	63
REFERENCIAS	65
GLOSARIO.....	72
ANEXOS	73
Anexo 1:	73
Diagrama conceptual del sistema propuesto	73
Anexo 2:	75
Anexo 3: Encuesta aplicada a personal técnico de planta	76
Anexo 4	80
Anexo 5	81
Anexo 6:	82
Cronograma de implementación del modelo en planta piloto	82
Anexo 7:	83
Evaluación económica y análisis de viabilidad financiera del sistema de ósmosis inversa con recuperación térmica.....	83

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1 Osmosis Inversa proceso de separación.....</i>	<i>12</i>
<i>Ilustración 2 Tecnología de osmosis inversa aplicada a la industria.....</i>	<i>17</i>
<i>Ilustración 3 Etapas del proceso de la tecnología de osmosis inversa aplicada a la industria</i>	<i>18</i>
<i>Ilustración 4 Diagrama de la integración térmica del proceso de osmosis inversa.....</i>	<i>54</i>

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 Aspectos e Información Aplicaciones de ósmosis inversa</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2 Aspectos e Información Limitaciones de ósmosis inversa.....</i>	<i>20</i>
<i>Tabla 3 Aspectos e Información Desafíos asociados con el uso de la ósmosis inversa.....</i>	<i>22</i>
<i>Tabla 4 Aspectos e Información Nuevos avances en la ósmosis inversa</i>	<i>24</i>
<i>Tabla 5 Encuesta Percepciones sobre la implementación.....</i>	<i>26</i>
<i>Tabla 6 Aspectos e Información - Minimizar el costo de la ósmosis inversa</i>	<i>27</i>
<i>Tabla 7</i>	<i>32</i>
<i>Tabla 8 Aspectos e Información Producción de la energía térmica.....</i>	<i>35</i>
<i>Tabla 9 Aspectos e Información Aplicaciones de la energía térmica</i>	<i>36</i>
<i>Tabla 10</i>	<i>37</i>
<i>Tabla 11 Aspectos e Información Eficiencia energética en industrias</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 12 Aspectos e Información rentabilidad de las medidas de eficiencia energética.....</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 13 Aspectos e Información Incentivos y regulaciones</i>	<i>43</i>
<i>Tabla 14 Aspectos e Información Medidas de eficiencia energética.....</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 15 Aspectos e Información Beneficios económicos y ambientales</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 16 Aspectos e Información Desafíos para la implementación.....</i>	<i>47</i>
<i>Tabla 17 Cronograma estimado para la implementación del sistema propuesto.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 18 Resultados comparativos simulados en planta tipo.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabla 19 Propuesta de KPIs para monitoreo del desempeño del sistema... </i>	<i>59</i>

RESUMEN

En el corazón palpitante de cada planta industrial se oculta una paradoja: la misma energía que impulsa la producción se destila, como vapor entre las manos, en forma de calor residual. Esta investigación propone una respuesta audaz a esa ineficiencia cotidiana: incorporar la ósmosis inversa — una tecnología tradicionalmente acuática— como herramienta estratégica para recuperar parte de ese calor olvidado y transformarlo en valor energético tangible.

No se trata simplemente de filtrar agua, sino de reimaginar el papel de esta tecnología dentro de los sistemas térmicos industriales. A través de un rediseño de ciclos térmicos y el uso de gradientes osmóticos, esta propuesta plantea un modelo replicable que puede adaptarse a múltiples contextos industriales. Hay que recordar que la ciudad de Guayaquil, por años ha logrado ser un referente en el marco industrial del país, ahora con la expansión y sus desafíos energéticos a flor de piel, no se debe quedar atrás, tiene que ser un referente en el laboratorio vivo para probar esta idea.

Los resultados de esta propuesta proyectan una mejora potencial del 18 % en la eficiencia térmica, lo cual se traduce no solo en ahorro económico, sino que, simplifica el impacto ambiental y mayor resiliencia operativa. Esta investigación no ofrece promesas utópicas, sino una herramienta concreta para transformar residuos térmicos en oportunidades energéticas, y lo hace tendiendo puentes entre ingeniería, sostenibilidad y estrategia.

Más allá de las estadísticas y los números, este trabajo invita a repensar los paradigmas industriales. Todo el mundo se mueve hoy en la

tecnología, sin embargo, no se ponen a pensar críticamente, en lo que parece un desperdicio no es otra cosa que energía esperando ser redescubierta.

Keywords: Energy efficiency, reverse osmosis, production, quality, environmental impact, industrial sustainability.

ABSTRACT

At the beating heart of every industrial plant lies a paradox: the very energy that drives production is distilled, like steam through our hands, in the form of waste heat. This research proposes a bold response to this everyday inefficiency: incorporating reverse osmosis—a traditionally aquatic technology—as a strategic tool to recover some of this forgotten heat and transform it into tangible energy value.

It's not simply about filtering water, but about reimagining the role of this technology within industrial thermal systems. Through a redesign of thermal cycles and the use of osmotic gradients, this proposal presents a replicable model that can be adapted to multiple industrial contexts. It should be remembered that the city of Guayaquil, for years a benchmark in the country's industrial landscape, must now, with its expansion and its energy challenges on the horizon, not be left behind; it must be a benchmark in the living laboratory to test this idea.

The results of this proposal project a potential 18% improvement in thermal efficiency, which translates not only into economic savings but also simplifies environmental impact and increases operational resilience. This research doesn't offer utopian promises, but rather a concrete tool to transform thermal waste into energy opportunities, and it does so by building bridges between engineering, sustainability, and strategy.

Beyond statistics and numbers, this work invites us to rethink industrial paradigms. Everyone today is driven by technology, yet they fail to think

critically about what appears to be waste, which is nothing more than energy waiting to be rediscovered.

Keywords: reverse osmosis, thermal energy, energy efficiency, heat recovery, Guayaquil, industrial sustainability

INTRODUCCIÓN

En el mundo industrial, cada proceso es una sinfonía de fuerzas: calor, presión, materia, tiempo. Y, como en toda sinfonía, hay notas que se pierden. En este caso, hablamos del calor residual: una energía que se genera, se dispersa y, por lo general, se desperdicia. A lo largo de las décadas, este fenómeno ha sido tolerado como una especie de “coste colateral” del funcionamiento industrial. Sin embargo, y si existiera una forma de recuperar parte de esa energía olvidada.

Esta investigación propone una alternativa audaz pero factible: aplicar el proceso de ósmosis inversa no solo como método de purificación de agua, sino como una estrategia para optimizar la energía térmica en plantas industriales. Se trata de mirar un proceso clásico desde un ángulo nuevo, como quien redescubre un viejo mecanismo y le encuentra un uso inesperado pero útil. La diferencia de esta propuesta es su perspectiva dual: por un lado, plantea un modelo adaptable en un mundo tecnológico para cualquier industria que enfrente pérdidas térmicas; por otro, se concreta con un estudio de caso localizado en la ciudad de Guayaquil, cuyo ecosistema industrial ofrece el terreno ideal para validar esta propuesta híbrida.

Guayaquil, es ideal para toda industria, ya que su infraestructura energética tensionada va en aumento, y tiene un parque industrial en crecimiento, esto representa un escenario que muchas ciudades latinoamericanas quisieran tener, sin embargo, en Guayaquil no se ha aprovechado esta demanda y hoy evidencia: alta demanda energética, costos

operativos en aumento y una necesidad urgente de modernizar prácticas obsoletas. En ese sentido, esta propuesta técnica se convierte en una guía útil para la región y, potencialmente, para otras zonas con perfiles similares.

El contexto actual exige soluciones energéticas eficientes y sostenibles. Con los precios de la energía fluctuando, los marcos regulatorios endureciéndose y la presión social hacia la sostenibilidad aumentando, las empresas que no innoven corren el riesgo de quedarse atrás. Esta propuesta ofrece no solo una ventaja técnica, sino también estratégica: reducir costos operativos, mejorar la eficiencia global y contribuir con un enfoque responsable al desafío climático.

No se trata de una utopía tecnológica ni de una solución milagrosa. Es una propuesta concreta, apoyada en fundamentos científicos y adaptados a las necesidades reales del sector industrial. El reto no es tecnológico, sino mental: cambiar la forma en que vemos la energía y reconocer que, muchas veces, lo que se escapa por una chimenea o se enfría en una torre no es un residuo... sino una oportunidad.

CAPÍTULO 1: ASPECTOS GENERALES

1.1 Justificación del Problema

Ignorar el calor residual en una planta industrial es como permitir que el agua de una represa se desborde sin hacer girar una sola turbina. En tiempos donde la energía es un recurso estratégico y la sostenibilidad una exigencia global, tal omisión no puede mantenerse sin consecuencias. Justamente por ello, esta investigación cobra relevancia.

Pareciera imposible, sin embargo, la propuesta de aplicar ósmosis inversa para mejorar la eficiencia térmica, es posible para los procesos industriales, ya que responde a una necesidad real y urgente: aprovechar mejor los recursos energéticos disponibles es fundamental. El interés no es solo técnico, sino también económico y ambiental. En ciudades como Guayaquil, donde la infraestructura energética presenta limitaciones y la industria crece, implementar soluciones de recuperación de calor residual puede marcar una diferencia significativa.

La propuesta también esclarece una brecha evidente en el ámbito académico referente la falta de promoción e iniciativas orientadas a la adaptación e integración de procesos tecnológicos para usos energéticos alternativos. La ósmosis inversa ya es una tecnología probada; lo innovador aquí es su reutilización mediante sistemas de recuperación que aprovechan el residuo. En lugar de reinventar la rueda, se plantea girarla en otra dirección.

Este sistema ofrece una visión desde lo académico, indica que, este trabajo también ofrece una contribución hacia la eficiencia energética

industrial orientada al desarrollo productivo, sostenibilidad industrial y disminución de gases de efecto invernadero.

1.2 Antecedentes

La eficiencia energética ha dejado de ser un lujo técnico para convertirse en una urgencia estructural. Se avisto que desde los finales del siglo XX se ha reconocido que la industria es uno de los grandes devoradores de energía, desde esta investigación, no lo observamos de esa forma, sin embargo, lo cierto es que la mayor parte de esa energía no termina donde debería: una fracción significativa se dispersa en forma de calor, un calor que, como un suspiro industrial, se eleva y desaparece sin haber cumplido su segunda oportunidad.

En América Latina, y particularmente en Ecuador, este fenómeno se agrava por factores como el aumento de los costos operativos, la volatilidad de las fuentes energéticas y una regulación ambiental en fase de fortalecimiento. Todo esto empuja al sector productivo a buscar soluciones más eficientes, sostenibles y adaptadas al contexto regional.

Es en este marco de tecnologías como la ósmosis inversa —conocida por su capacidad para purificar agua— hablando metafóricamente, esta “se comienzan a visualizar bajo una nueva luz”. Diversos estudios en Asia y Europa han probado que, bajo condiciones específicas, esta tecnología puede integrarse a sistemas térmicos para recuperar parte del calor residual, reduciendo así el consumo energético neto de la planta.

En América Latina existe un enfoque aún incipiente, esto porque hay señales de un interés creciente, desde dos puntos de vista, como son el

ámbito académico y desde el ámbito industrial, este último esta por explorar estas nuevas funciones del ósmosis inversa. Y Guayaquil, ciudad portuaria e industrial por excelencia, se presenta como un territorio fértil para validar esta idea. Según los datos del Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2023), menciona que, el consumo energético industrial en la ciudad ha crecido un 27 % en los últimos diez años, concentrándose en sectores como alimentos y bebidas, metalmecánica y producción de plásticos.

Este crecimiento es tan positivo en lo económico como desafiante en lo energético, ya que, abre una puerta estratégica: si se logra que las industrias logren aprovechar el calor que hoy pierden, no solo mejorarían su eficiencia interna, sino también su competitividad externa y su compromiso ambiental. Esta investigación nace justo para esto: en el cruce entre lo posible y lo necesario.

1.3 Definición del Problema

Cada proceso industrial es una planificación de energía: se calienta, se transforma, se mueve. Pero en medio de esa preparación productiva, una gran parte de la energía se escapa, silenciosa, en forma de calor no aprovechado. Esa pérdida no solo es técnicamente evitable, sino que representa un gasto que se repite mes a mes y un impacto ambiental que se acumula sin tregua.

A pesar de los avances en automatización, monitoreo y control, muchas plantas industriales siguen operando como si ese calor fuera irrecuperable. La realidad es otra: la tecnología existe, pero no siempre se aplica. Y ahí está el núcleo del problema que aborda esta investigación.

Es probable que la carencia de mecanismos eficaces, asequibles y adaptados para recuperar energía térmica en entornos industriales sea una

barrera, sin embargo, hay que tomar en cuenta los sectores que pueden lograrlo, en el contexto como el de la ciudad de Guayaquil, donde confluyen limitaciones económicas, retos técnicos y urgencias ambientales, constituye una oportunidad desperdiciada. No se trata solo de ser más eficientes, sino de ser más estratégicos.

La ósmosis inversa, comúnmente asociada al tratamiento de agua, ofrece un camino alternativo: uno que, bien diseñado, puede integrarse al circuito térmico de una planta y convertir calor residual en valor operativo. No aprovecharlo no es una simple omisión técnica: es una decisión que afecta directamente la sostenibilidad, la competitividad y el futuro energético de la industria.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo general

Proponer una estrategia técnica basada en el uso del ósmosis inversa para la recuperación y mejoramiento de la energía térmica en plantas industriales, con el fin de optimizar el consumo energético, reducir pérdidas térmicas y fomentar la sostenibilidad operativa, a partir de un estudio de caso en la ciudad de Guayaquil y con lineamientos replicables a nivel regional.

1.4.2 Objetivos específicos

1. Analizar el estado actual de la gestión de energía térmica en industrias de Guayaquil.
2. Evaluar el potencial técnico de ósmosis inversa como herramienta de recuperación de calor residual en procesos industriales.
3. Analizar la viabilidad económica y energética del modelo propuesto mediante simulación y análisis comparativo.

4. Implementar estrategia de ósmosis inversa para la eficiencia térmica industrial en Guayaquil: Elaborar una propuesta de lineamientos técnicos y estratégicos aplicables a diferentes tipos de plantas industriales.

1.5 Hipótesis

En el escenario hipotético de implementar un sistema de recuperación de calor basado en la ósmosis inversa en plantas industriales de la ciudad de Guayaquil, se plantea que dicha integración no solo permitirá mejorar de forma sustancial la eficiencia térmica global de los procesos productivos, sino que además contribuirá a una reducción significativa del consumo de energía primaria —especialmente aquella proveniente de combustibles fósiles— y, por consiguiente, a la disminución de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

La hipótesis mantiene la premisa del calor residual que sin mayor aprovechamiento se puede convertir en un recurso energético de utilidad mediante la adaptación de tecnologías de membranas aplicadas a la osmosis inversa adaptada al contexto industrial para recuperar la energía no aprovechable y reutilizarla en otros procesos que incrementen la sostenibilidad de la planta.

También se afirma que esta innovación tecnológica no compromete la continuidad operativa en procesos industriales siempre que se mantenga un diseño y un plan estratégico de integración progresiva.

En suma, la hipótesis plantea que el uso de la ósmosis inversa para la recuperación de calor no solo es técnicamente viable, sino que ofrece un doble impacto positivo: por un lado, eficiencia energética que reduce consumos y costos; y por otro, beneficio ambiental, al minimizar las emisiones

contaminantes y contribuir al cumplimiento de compromisos globales de sostenibilidad.

1.6 Metodología de Investigación

Investigar no es solo recolectar datos; es adentrarse en la lógica duradera de los procesos, prestar atención al sonido las máquinas, leer entre líneas los indicadores térmicos y comprender cómo la energía fluye, y a veces se escapan detalles en el día a día de una planta. Por eso, esta investigación adopta un enfoque mixto: cuantitativo, para medir con precisión; cualitativo, para interpretar con contexto.

El diseño metodológico es aplicado, no experimental, y de tipo descriptivo-explicativo. Esto quiere decir que no se busca alterar procesos existentes, sino comprenderlos, modelarlos y proponer mejoras a partir de su propia dinámica interna. La investigación se estructura en tres fases bien diferenciadas:

- **Fase 1:** Diagnóstico energético y técnico. Aquí se levantará información detallada sobre el consumo de energía térmica, los puntos de generación de calor residual y las condiciones de operación actuales de una planta industrial seleccionada en Guayaquil. Se utilizarán herramientas como fichas técnicas, entrevistas semiestructuradas con operadores e ingenieros, y análisis de registros históricos de consumo.
- **Fase 2:** Modelado del sistema propuesto. Utilizando software especializado como Aspen HYSYS o MATLAB, se diseñará un modelo de integración de ósmosis inversa dentro del sistema térmico. Esta etapa contempla la simulación de distintos escenarios de recuperación,

con variaciones de caudal, presión y temperatura, para evaluar su impacto sobre la eficiencia y el retorno económico.

- **Fase 3:** Validación técnica y económica. Finalmente, se evaluará la factibilidad global del sistema propuesto. Se calcularán indicadores clave como la eficiencia térmica neta, el índice de recuperación energética y el periodo de retorno de inversión (payback). También se examinarán posibles barreras normativas, operativas o técnicas que podrían dificultar la implementación real.

Todo el proceso se guiará por principios de rigor metodológico y ética profesional. Pero más allá de eso, busca generar recomendaciones útiles, accionables y replicables. Porque esta tesis no es solo una reflexión académica: es una propuesta que quiere vivir dentro de las plantas industriales.

CAPÍTULO 2: FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.1 Osmosis Inversa

La ósmosis inversa tiene un proceso de separación de membrana que utiliza con presión externa para forzar el paso de un solvente a través de una membrana semipermeable, desde una solución de mayor concentración a una de menor concentración. Este principio, que a simple vista parece contradecir las leyes naturales, ha demostrado ser una de las tecnologías más eficaces para la desalinización, la purificación de agua y, recientemente, para la recuperación energética en ciertos contextos industriales (Elimelech & Phillip, 2021).

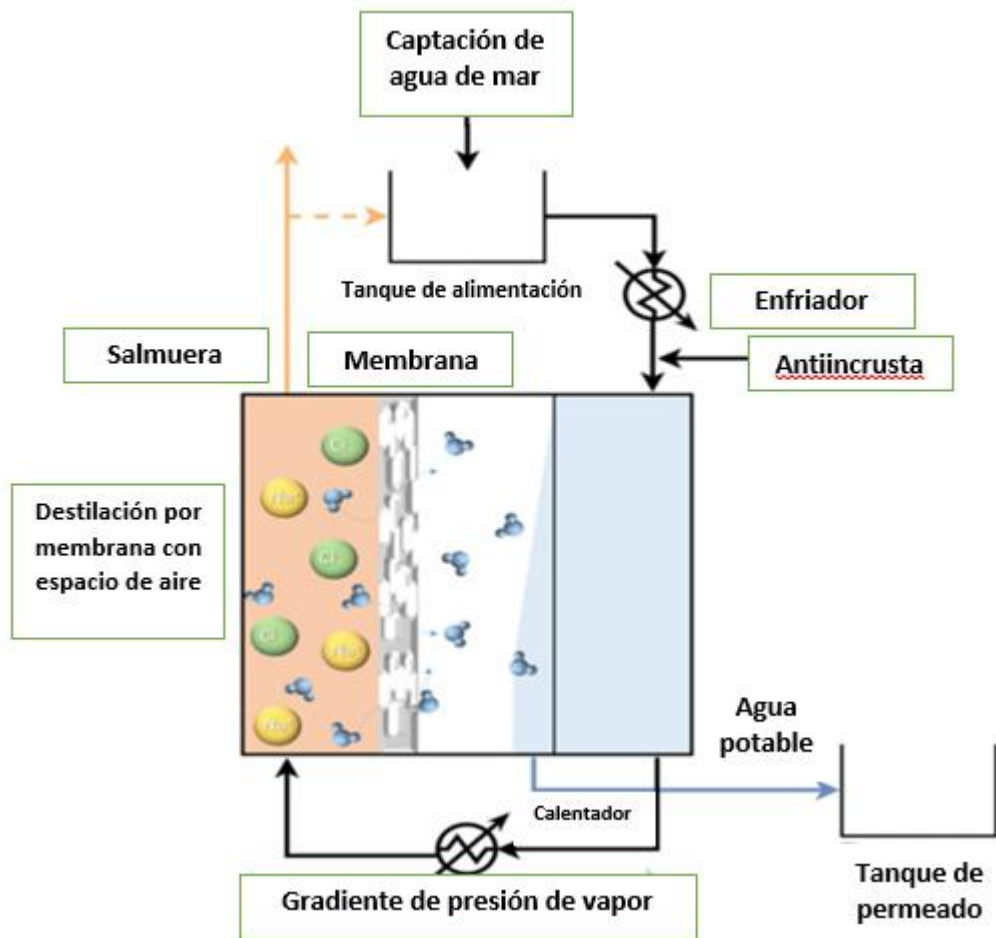
El origen de la osmosis inversa parte del siglo XVIII. Sin embargo, su desarrollo se llevó a cabo a mediados del XX, consolidándola como una herramienta útil para sectores para la gestión de fluido líquido. Sin embargo, su versatilidad va más allá de un tratamiento hídrico, puede integrarse a otros sistemas sobre todo a sistemas intercambiadores de calor o de reducción de carga térmica o reutilización de fluidos (Cath et al., 2022).

Desde una perspectiva termodinámica, el sistema osmótico presenta un potencial interesante: al inducir la presión necesaria para el proceso inverso, se genera un diferencial energético que, si se gestiona adecuadamente, puede contribuir al balance térmico de un sistema industrial. Es precisamente esta propiedad la que se investiga en este proyecto: no la ósmosis inversa como fin, sino como medio para recuperar valor energético en un entorno donde el calor suele ser visto como un residuo inevitable.

La implementación de sistemas de ósmosis inversa en plantas industriales no requiere una transformación radical de la infraestructura existente. Más bien, se integra como un subsistema estratégico, capaz de mejorar la eficiencia global y reducir las pérdidas asociadas al tratamiento de aguas calientes, recirculación de fluidos o procesos que involucren diferencias de temperatura considerables.

Ilustración 1

Ósmosis Inversa proceso de separación



Fuente: Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N.

Este tipo de tecnología era utilizada para el tratamiento de aguas. En la actualidad se encontró otro tipo de aplicaciones con un enfoque hacia la generación de la energía busca reducir el desperdicio y aprovechar la separación de las moléculas de agua.

2.2 Aplicaciones de ósmosis inversa

Lo que inicio como una peculiaridad tecnología que convirtió el agua salada en agua potable termino transformándose con el paso del tiempo en un recurso heterogéneo capaz de insertarse en diversas aplicaciones industriales que demanda la industria moderna. El proceso de osmosis inversa utiliza el flujo de selectividad molecular variando sutilmente la presión según el flujo siendo este el punto de equilibrio donde las membranas juegan un rol fundamental haciendo la transición del intercambio molecular dejando atrás lo indeseado. Este proceso ha demostrado ser eficaz en sectores industriales con procesos de aguas servidas y potables.

En la industria alimenticia la osmosis inversa se ha convertido en un aleado silencioso que conserva los sabores, aromas y texturas en la producción sin alterar su composición, eso ayuda a que los productos puedan preservarse sin exponerlo a temperaturas sin correr el riesgo de alteración de moléculas en las propiedades nutricionales de la bebida. Para el caso de bebidas alcohólicas se ha podido incluso desalcoholizar cervezas manteniendo su textura y sabor, lo que indica que cada aplicación separa las moléculas indeseadas sin violentar el proceso.

Para el sector farmacéutico presenta una oportunidad debido a que la osmosis inversa adicional a los parámetros adicionales busca la estética siendo un enfoque más exigente donde el agua ultra pura es indispensable

para la composición de medicamentos, para la limpieza de equipos especializados y la preparación de soluciones líquidas inyectables. La membrana adopta la función de un guardián molecular que resguarda la fiabilidad del proceso.

En el sector energético evidencia un potencial crecimiento mediante el uso de la recuperación de agua en ciclos de refrigeración que pasan por las calderas industriales y reducciones las incrustaciones en el sistema por generación térmica. Cada etapa del proceso maneja el efecto domino. Es decir, menos incrustaciones indican que el consumo de combustible es más eficiente y genera menos gas contaminante (Khawaji et al., 2020).

Otros sectores como la industria textil donde se utiliza este proceso para reciclar las aguas cargadas de agentes colorante, sales y otros metales pesados devolviendo al sistema un recurso que antes era utilizado como un residuo contaminante y ahora puede ser aprovechados para otros subprocesos. En la minería esta tecnología permite la trata de aguas asegurando el control de aguas subterráneas salobres con un bajo impacto ambiental.

En la última década las actualizaciones tecnológicas han aprovechado la osmosis inversa para sistemas híbridos combinando el intercambio iónico con la destilación por membranas para el ahorro energético. Demostrando que la adaptación de estas tecnologías disminuye consumos y permiten que el sistema abarque un gran rango de aplicación en entornos energéticos con exigencias operativas.

Finalmente se puede afirmar que los procesos de ósmosis inversa dejan un legado tecnológico aplicado a un entorno de procesos energéticos y refinamientos de la producción en procesos industriales.

Tabla 1

Aspectos e Información Aplicaciones de ósmosis inversa

Aspecto	Información
Aplicaciones de La Ro	Ampliamente utilizada en desalinización de agua de mar, separación selectiva, tratamiento de aguas residuales y eliminación de contaminantes en agua marina.
Configuración General	Procedimiento compuesto por dos pasos que recude las partículas de agua de mar y elimina el boro.
Soluciones y Limitaciones	Las incrustaciones por un PH elevado y por polarización de la concentración del fluido. La solución planteada incluye membranas activas y la exploración de nuevas membranas con sistemas de detección de CP.
Tratamiento del Agua	Es indispensable la disminución del sistema RO y la consideración de la tecnología para asegurar la calidad del agua con el recubrimiento de nanotubos de carbono.
Tendencias Futuras	Pronóstico de crecimiento continuo del ósmosis inversa. Elección entre pre tratamiento convencional y basado en membranas se complica. Búsqueda de soluciones mediante tecnologías emergentes.

Fuente: Elaboración Propia

2.3 Ósmosis inversa en la industria

La osmosis inversa es considerada como un recurso industrial moderno para purificar un fluido específico y extraer impurezas manteniendo la misma textura, viscosidad, sabor y color. Es utilizado como un recurso complementario para procesos de refinamiento dentro del campo industrial moderno y para sistemas de calefacción.

En la industria petrolera que suelen cargarse de hidrocarburos y otros metales donde la osmosis inversa es considerado como un operador molecular que separa, concentra y filtra el fluido apartado a condiciones aceptables para su reutilización. No se limita únicamente al proceso de filtrado, también alivia la carga de los sistemas tradicionales de tratamiento y disminuye considerablemente el impacto ambiental (Fane et al., 2006).

En las empresas de fabricación de equipos electrónicos la OI es utilizada para la fabricación de semiconductores dotados con materiales intrínsecos. Es utilizado para la creación de pantallas, el hidro moldeado de vehículos, fabricación de celdas solares, entre otros elementos con la ventaja de que estos semiconductores cumplan funciones de diodo, conmutación y amplificadores de potencia (Lee et al., 2021).

Dentro de la industria ecuatoriana. Por ejemplo, el sector camaronero enfrenta importantes retos como la necesidad de reutilizar el agua para procesos de tratado, dentro de las piscinas camaroneras buscando disminuir costos y responder a las exigencias ambientales para la industrial alimentarias enfocadas en la mejora de la calidad de la producción. El enfoque prolonga la

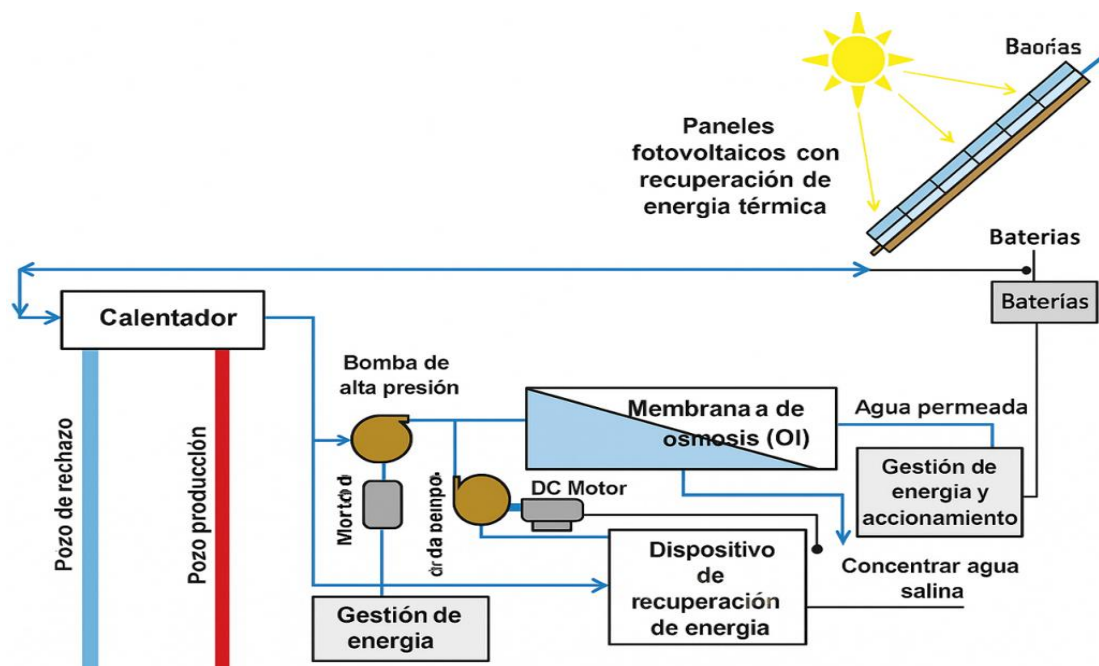
vida útil y aplica la OI para procesos de purificación donde marca una apertura cultural en el terreno de la integración más ambiciosa.

La reducción de pérdidas energéticas en el sistema busca optimizar el intercambio de calor y el énfasis en preservar la cultura de eficiencia energética en el sistema contribuyendo en un manejo controlado del balance térmico general de la planta aprovechando los gradientes de presión y temperatura de las soluciones salinas calientes.

Se puede dar como preámbulo que la osmosis inversa es considerada una tecnología flexible, adaptable que dentro del campo de la eficiencia energética busca la optimización hídrica y térmica. Aun su potencial no está del todo explorado, pero es catalogado como una herramienta de equilibrio para la producción, costos y sostenibilidad.

Ilustración 2

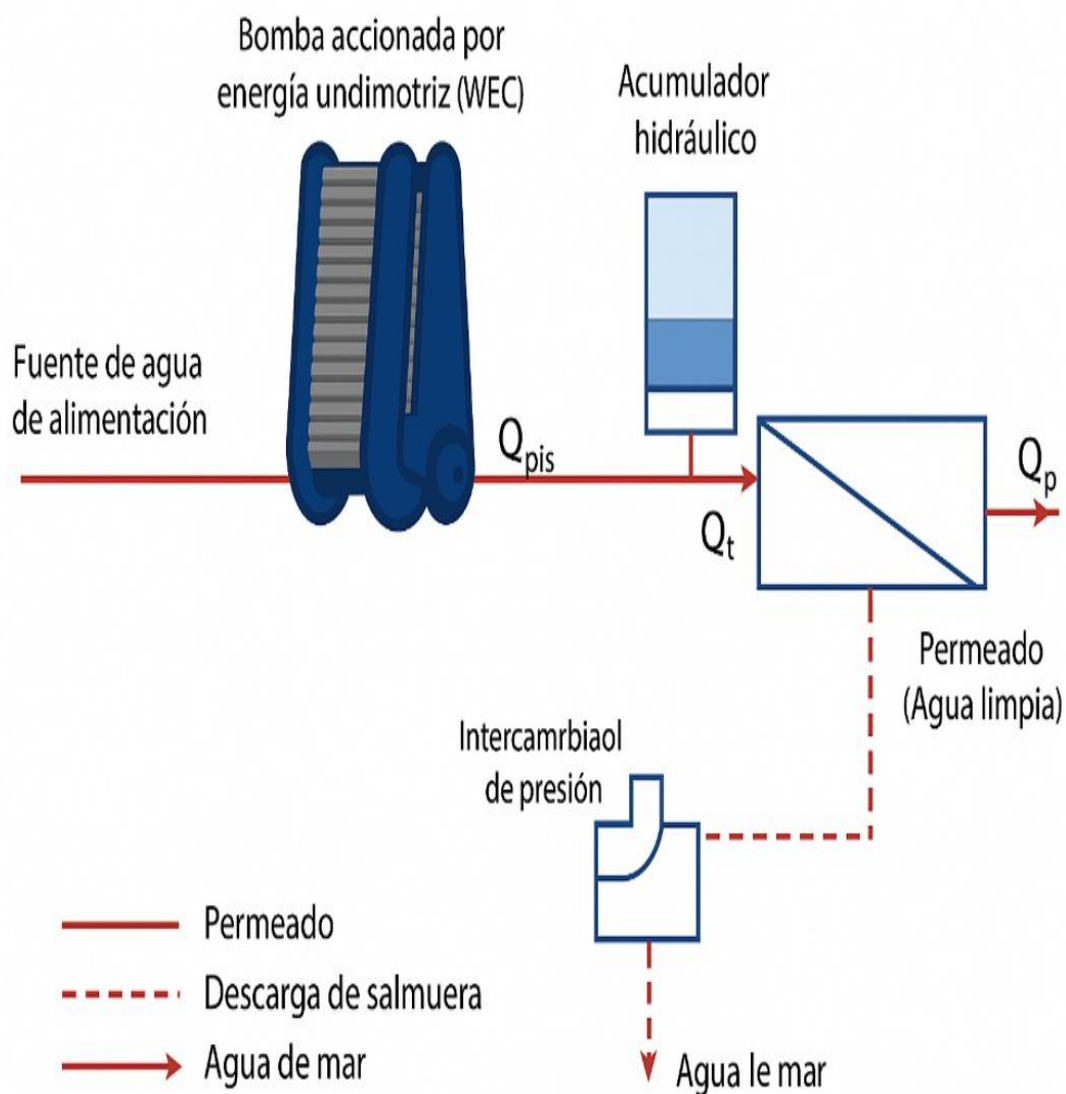
Tecnología de osmosis inversa aplicada a la industria



Fuente: Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N.

Ilustración 3

Etapas del proceso de la tecnología de osmosis inversa aplicada a la industria



Fuente: Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N.

2.4 Limitaciones de ósmosis inversa

La osmosis inversa pese a ser un procedimiento bastante aplicativo tiene sus limitaciones, mismas que no pueden pasar desapercibidas si se

quiere aplicar en el sector industrial. Aunque es sistema es eficiente que la destilación tradicional, se manejan presiones elevadas para soluciones salinas lo que indica que se necesita fuerza para empujar el agua y eso cuesta energía (Greenlee et al., 2020).

Las membranas dedicadas como filtro quirúrgico se degradan fácilmente cuando el agua contiene cloro o compuestos orgánicos y partículas en suspensión dañado el revestimiento del filtro.

La salmuera no puede pasar desapercibida. Si no se maneja con responsabilidad esto puede convertirse en un problema en zonas con regulaciones estrictas o cuerpos de agua dulce debido al aumento de temperatura. Algunas membranas no toleran estos cambios de temperaturas y esto presenta un desafío al integrar esta tecnología a sistemas térmicos industriales.

Para los seres humanos en muchas ocasiones la osmosis inversa se ve como una caja negra ante el personal técnico. Debido a que la falta de un estudio concreto, capacitaciones, monitoreo adecuado pueden hacer que el proceso no rinda como es debido.

Sin embargo, estas limitaciones no son muros inquebrantables. Con un diseño integral que combina el mantenimiento continuo y una gestión en los procesos, la ósmosis inversa puede ofrecer mucho más de lo que exige.

Tabla 2

Aspectos e Información Limitaciones de ósmosis inversa

Aspecto	Información
Eficiencia de la OI	La ósmosis inversa (OI) destaca en desalinización, pero enfrenta problemas como ensuciamiento, aumentando costos y reduciendo vida útil de la membrana.
Tipos de ensuciamiento	Bio incrustaciones, orgánicas, inorgánicas y coloidales son desafíos principales. Monitoreo en tiempo real y nuevos materiales de membrana ayudan a combatir ensuciamiento.
Pretratamiento	Pretratamiento riguroso es esencial para proteger la operación de OI ante sedimentos y microbios en aguas superficiales.
Limitaciones adicionales	Altos requisitos computacionales y consumo específico de energía son desafíos persistentes. Procesos alternativos también tienen limitaciones.
Innovación propuesta	Se propone la ósmosis inversa semicerrada (SCRO) como solución para mitigar sobre presurización sin etapas adicionales y evitar mezcla almacenando en tanques separados.

Fuente: Elaboración Propia

2.5 Desafíos asociados con el uso de la ósmosis inversa

Fuera de las limitaciones mencionadas, el proceso de osmosis inversa también presenta desafíos estructurales para la adaptarlo a procesos de gran escala. La resistencia al cambio tecnológico es un factor dentro de la industria que impide el crecimiento organizacional orientado hacia la eficiencia en la producción. Muchas industrias aun operan ante esquemas

conservadores donde cualquier alteración a la infraestructura presenta un riesgo en vez de ser visto como oportunidad sustentable para los negocios (Sanz et al., 2023).

Otro reto es el manejo de la operación del proceso debido a que sus condiciones exigen calidad del fluido, temperatura constante y manejar los parámetros estandarizados por las regulaciones que pueden variar según la región. Los ajustes de diseño pueden variar también según la necesidad de la industria y las condiciones laborables.

La gestión de residuos también presenta otro desafío que puede ser manejable debido al rechazo salino. Sin embargo, la preocupación el proceso es por el tema ambiental, la presión regulatoria sobre el control de la concentración, reutilización e integración de otros procesos y la adaptación a otros entornos industriales.

Finalmente, el desconocimiento y la falta de capacitación es una preocupación debido a que ningún sistema es ideal y esta propenso a algún fallo. Ante tal situación es necesario un personal capacitado para solventar problemas que enfrente la osmosis inversa y la adaptación de tecnologías para hacerlo más eficiente.

Tabla 3

Aspectos e Información Desafíos asociados con el uso de la ósmosis inversa

Aspecto	Información
Desafíos de la Ósmosis Inversa	Desafíos en la ósmosis inversa incluyen el ensuciamiento, afectando rendimiento y costos. Estrategias clave son el desarrollo de membranas antiincrustantes y correlación propiedades-rendimiento. El deterioro por ensuciamiento es un reto adicional.
Desafíos en Plantas de Ósmosis Inversa de Agua de Mar	Elección compleja entre sistemas de pretratamiento para plantas de ósmosis inversa de agua de mar. Desafíos incluyen tamaño, costos, operación y acuerdos contractuales. La sensibilidad de membranas de poliamida al cloro se aborda con modificaciones. Estudio de degradación de moléculas orgánicas en presencia de cloro es crucial.

Fuente: Elaboración Propia

2.6 Riesgos potenciales de utilizar ósmosis inversa

La tecnología que se inserta en una planta industrial funciona como un musculo. En este caso la osmosis inversa trae consigo aplicaciones, pero también advertencias las cuales son:

Se recomienda no colapsar el sistema por sobrepresión o por desequilibrio térmico. Esta condición altera los rangos permisibles lo que puede acarrear a un mal funcionamiento o fallo de las membranas, núcleo sensible del proceso. Si esto ocurre no solo se generan pérdidas económicas por el proceso de mantenimiento, sino la para total de la planta (Tang et al., 2020).

Otro riesgo grave es el mal manejo de la salmuera ya que este concentrado salino de mover ser sin control puede afectar a comunidades cercanas y ecosistemas volviéndolos vulnerables.

También se presentan riesgos financieros latentes por subestimar los costos operativos y no tener previstos los gastos por mantenimiento.

La conclusión es sencilla, aunque contundente: incluso las tecnologías más prometedoras requieren planificación, monitoreo y sentido estratégico. Porque sin ello, lo que empezó como solución puede transformarse en un nuevo problema, esta vez más complejo y más caro.

2.7 Nuevos avances en la ósmosis inversa

Aunque enfrenta sus propias limitaciones, la ósmosis inversa no se ha quedado quieta. En los últimos años, ha sido objeto de una ola de innovación que no solo busca resolver sus debilidades, sino expandir sus posibilidades. Uno de los avances en el desarrollo de las membranas de grafeno finas fue disminuir su grosor hasta tener un diámetro similar a una hebra de pelo pero con una resistencia química y un nivel de permeabilidad considerable. Esta membrana bajo diversas pruebas de rendimiento ha demostrado trabajar en condiciones de altas temperaturas y prolongar la vida útil del sistema (Joshi et al., 2024).

Otro punto para tomar en cuenta son los sistemas de recuperación de energía que en vez de dejar que la presión del flujo se pierda por rechazo lo reutiliza para el movimiento de turbinas y otros mecanismos auxiliares, disminuyendo la carga energética (McGovern & Lienhard, 2024).

Los sistemas inteligentes hoy en día son unidades modulares que se acoplan a los sistemas existentes con sensores y sistema de control y

algoritmos para pronosticar posibles daños en las etapas del sistema de ósmosis inversa.

La combinación de tecnologías haciendo sistemas híbridos que adoptan uno o más enfoques tecnológicos bajo un mismo fin, como la energía solar térmica, la biomasa y la geotérmica. Da lugar a un horizonte más profundo para la mejora del sistema de ósmosis inversa y la recuperación de calor en la planta industrial.

La innovación no solo la hace más eficiente, también la vuelve más adaptable. Lo que antes era una solución puntual, hoy empieza a comportarse como una plataforma tecnológica completa.

Tabla 4

Aspectos e Información Nuevos avances en la ósmosis inversa

Aspecto	Información
Avances en Ósmosis Inversa	Introducción de innovaciones en la tecnología de ósmosis inversa (OI) para disminuir el consumo de energía y mejorar la capacidad de la membrana.
Energía Solar Fotovoltaica	Implementación de sistemas de energía solar fotovoltaica para propulsar la depuración mediante ósmosis inversa, considerada como una nueva dirección viable.
Revestimientos	Propuestas de diseño con matrices de polímeros para el revestimiento de membrana,
Sistema de barrera antimicrobiana	Implementación de sustancias como poliéster – urea y poliamida – urea para disminuir la adhesión de otros microorganismos y promover la recolección de iones de agua.
Propuestas de mejora	Nuevas soluciones de membrana para reducir la capacidad de alojamiento de bacteria y aumentar la eficiencia de la ósmosis inversa.

Fuente. Elaboración Propia

2.8 Minimizar el costo de la ósmosis inversa

La reducción de los costos sigue siendo uno de los principales objetivos para la mejora de la ósmosis inversa. Uno de los caminos más viables ha sido el incremento en la eficiencia de las bombas de alta presión, que son las responsables de la mayor parte del consumo energético del sistema. La mejora en su rendimiento ha permitido disminuir significativamente los costos operativos (Stover, 2021).

La producción de membranas ha tenido actualizaciones tecnológicas volviéndolas más resistentes al ensuciamiento y duraderas lo que disminuye la frecuencia de un cambio y por ende costos por reposición. Además, la automatización de procesos ha permitido optimizar el lavado de membranas y prevenir daños estructurales al sistema.

La economía ha contribuido de una forma sustancial cuando las industrias han buscado adoptar cambios tecnológicos en un sistema de producción. Los gastos adquisitivos e implementación para los sistemas de ósmosis inversa se han reducido con los años y han hecho una solución viable para instalaciones pequeñas, medianas y grandes.

Los incentivos y subvenciones para algunos países es algo que promueve y fortalece la migración tecnológica, sobre todo para sistemas de tratamiento de agua y sistemas de eficiencia energética.

En Ecuador existen varias maneras para fortalecer los marcos regulatorios, con propuestas de implementación viables desde el punto de vista financiero.

De acuerdo con la encuesta aplicada al personal de la planta industrial se puede evidenciar percepciones sobre la implementación de sistema de

recuperación térmica mediante proceso de ósmosis inversa. Dentro de la encuesta se implementaron 7 preguntas de criterio abierto sobre percepciones de recuperación térmica pro el proceso mencionado, barreras, desafíos, oportunidades en su implementación. La población para la muestra fueron 20 personas de los cuales 15 son operarios de planta y 5 ingenieros de mantenimiento a fecha del 25 de abril del 2025.

Tabla 5

Encuesta Percepciones sobre la implementación

Pregunta	Respuesta afirmativa (%)	Interpretación
¿Conoce la tecnología de ósmosis inversa aplicada a tratamiento de agua?	78 %	Conocimiento general, pero no específico.
¿Está familiarizado con su uso en procesos energéticos?	7 %	Desconocimiento marcado sobre aplicaciones térmicas.
¿Considera útil recuperar calor residual dentro de la planta?	87 %	Alta aceptación de la idea de eficiencia térmica.
¿Cree que este tipo de tecnología se adaptara a su entorno de trabajo?	73 %	Percepción positiva, aunque con reservas técnicas.
¿Considera necesario un programa de capacitación?	80 %	Reconocimiento explícito de necesidad de formación técnica.
¿Se encuentra dispuesto a participar en programas de capacitación?	85 %	Buena predisposición a programas de capacitación.
¿Cuáles que puedan ser las principales barreras u obstáculos que se puedan encontrar en la implantación de esta tecnología?	—	Comentarios abiertos: falta de recursos, capacitación, apoyo directivo.

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 6

Aspectos e Información - Minimizar el costo de la ósmosis inversa

Aspecto	Información
Estrategias para reducir costos	Medidas como aumentar la tasa de dilución y reducir la presión osmótica y operativa también contribuyen a ahorros de energía. Tecnologías como el sistema híbrido FO-LPRO y el pretratamiento de coagulación-ultrafiltración reducen el consumo de energía y costos del proceso.
Coagulantes	Algunos de los coagulantes tales como el cloruro de polialuminio e el hidrato de aluminio son indispensables para el proceso de osmosis inversa.
Pretratamiento del fluido	Aplica técnicas convencionales y no convencionales para el precalentamiento y la nanofiltración
Fuerza osmótica	Mejora la eficiencia del sistema para la desalinización por osmosis inversa mediante el aumento de la fuerza osmótica.

Fuente: Elaboración Propia

2.9 Integración de sistemas híbridos y dispositivos de recuperación de energía

Hablar de osmosis inversa adopta una nueva imagen de membranas y bombas. Es un sistema integra donde la presión el calor y los flujos hídricos se complementan trabajando continuamente de forma armónica, convirtiendo las perdidas térmicas en oportunidades de eficiencia. Esto va de la mano con equipos de recuperación de energía e intercambiadoras térmicos y en algunos casos en paralelismo con fuentes renovables.

2.9.1 La estrategia híbrida descansa sobre tres ejes principales:

Se puede recuperar el calor y la presión en los procesos que son considerados por los conservadores industriales como fuente de rechazo. Sin embargo, como se puede decir que presión perpetua o gradiente de temperatura necesita de dispositivos de recuperación se puede reconvertir este flujo en energía aprovechable y minimizar la exigencia sobre las bombas principales. Los intercambiadores de calor precalientan el agua de alimentación reduciendo el aporte térmico extremo (McGovern & Lienhard, 2023).

Integración con fuentes renovables. La combinación de ósmosis inversa con fuentes térmicas limpias —paneles solares o sistemas de biomasa— ofrece estabilidad y menor dependencia de combustibles fósiles. Este esquema resulta particularmente atractivo en industrias con ciclos operativos regulares, donde la intermitencia solar puede mitigarse mediante almacenamiento de calor o gestión flexible de turnos (IEA, 2021).

Diseños modulares y escalables. Los sistemas actuales tienden hacia configuraciones modulares, lo que facilita el aumento progresivo de capacidad sin afectar la infraestructura existente. Este enfoque permite a las empresas adoptar la tecnología por fases, minimizando riesgos productivos.

Dentro del contexto de la eficiencia energética se ha podido observar menor dependencia del consumo eléctrico en sistemas de bobeo, disminución de combustibles y una reducción significativa en la huella de carbono. No obstante, los beneficios reales dependen de una correcta adaptación al perfil de consumo de cada planta industrial.

La mayor complejidad para la operación del sistema es la necesidad de una inversión inicial considerable y mantener el equilibrio entre los factores de temperatura, presión y caudales. Lo que vuelve complejo a este sistema, pero hace indispensable la incorporación de sistemas de gestión que permitan regular estos parámetros (IEA, 2021; McGovern & Lienhard, 2024).

2.10 Estrategias antifouling, mantenimiento y prolongación de la vida útil de membranas.

Las membranas son parte de un núcleo sostenible dentro del sistema de osmosis inversa. Está comprometido por fenómenos de incrustación al igual que degradación química los que afectan significativamente la eficiencia del sistema y los costos operativos. Por tanto la prevención, mantenimiento y monitoreo son la clave para no depender de este tipo de membrana y conservar el sistema mediante subprocesos.

2.10.1 Principales mecanismos de deterioro:

El fouling biológico y orgánico generan la acumulación de capas micrográficas que reducen el flujo y aumenta la presión para la filtración. Esto indica que el sistema demanda un pretratamiento para incluir en la filtración previa la aplicación de biocidas y limpiezas químicas (Tang et al., 2020).

Las incrustaciones minerales como sales poco solubles o carbonos tienen a precipitar la membrana cuando la temperatura o su el nivel de concentración del flujo aumenta. La prevención consiste en el uso de anti escalantes y un control del índice de saturación global del sistema,

Los agentes oxidantes como el cloro dañan la poliamida de las membranas generando una degradación química. Un diseño de tratamiento

cuidadoso con protocolos de lavado reduce el índice de riesgos (Greenlee et al., 2021).

La incorporación de un sistema de supervisión y monitoreo es una estrategia que va de la mano con un plan de mantenimiento. Un control en tiempo real sugerido por sistemas de instrumentación que registran constantemente el comportamiento y pérdidas en el sistema, turbidez, sobrepresiones, etc., permite anticipar eventos y tomar acciones preventivas. (Joshi et al., 2024). Como recomendación operativa se indica la necesidad de implementar un sistema de pretratamiento para la calidad del agua de alimentación.

Establecer protocolos de limpieza in situ mediante pruebas pilotos y con un control periódico del registro de indicadores críticos los cuales son el flujo normalizado, rechazo de sales, presión y variaciones de consumo energético.

Impacto económico. La reducción en la frecuencia de reemplazo de membranas y la optimización del uso de químicos se traducen en menores costos a largo plazo, además de garantizar la continuidad del proceso productivo. Estos factores deben ser considerados en los modelos financieros de viabilidad.

2.11 Evaluación económica y análisis de ciclo de vida (LCA)

La viabilidad de la ósmosis inversa no se mide solo en eficiencia técnica. Para que una planta adopte esta tecnología, los resultados deben expresarse en términos financieros y ambientales claros: inversión, ahorros, emisiones evitadas y tiempo de recuperación de la inversión.

2.11.1 Aspectos económicos fundamentales:

CAPEX (inversión inicial). Incluye la compra de módulos de membranas, bombas de alta presión, recuperadores de energía, intercambiadores y sistemas auxiliares de pretratamiento y control.

OPEX (gastos de operación). Abarca el consumo eléctrico, productos químicos, sustitución de membranas, labores de mantenimiento y costos de personal.

Beneficios tangibles. Ahorro energético, reducción de la dependencia térmica, menor gasto en compra de agua, valorización de subproductos y potenciales ingresos por créditos de carbono.

Indicadores financieros. Valor actual neto (VAN), tasa interna de retorno (TIR), periodo de recuperación y análisis de sensibilidad frente a variaciones en precio de energía y vida útil de membranas.

Análisis de ciclo de vida (LCA). Esta herramienta permite valorar el impacto ambiental total, desde la fabricación de membranas y bombas hasta su disposición final. A menudo, materiales con una huella inicial más alta resultan favorables a largo plazo si reducen de manera significativa el consumo energético durante su operación (UNIDO, 2020).

Tabla 7

Evaluación financiera del sistema de ósmosis inversa para recuperación de calor industrial

Indicador	Valor estimado	Supuestos base	Interpretación
Inversión inicial (CAPEX)	USD 120,000	Costo total del sistema (membranas, instalación y control)	Inversión moderada para una planta mediana.
Ahorro energético anual	USD 26,784	Reducción del 19.2 % del consumo térmico actual	Ahorro derivado del aprovechamiento de calor residual.
Costos operativos anuales (OPEX)	USD 5,000	Mantenimiento y limpieza de membranas	Gasto recurrente asumible dentro de los costos de planta.
Flujo neto anual	USD 21,784	Ahorro – OPEX	Beneficio económico directo anual.
VAN (8 %, 10 años)	USD 26,175	Tasa de descuento del 8 %	Proyecto rentable con valor presente positivo.
TIR (tasa interna de retorno)	12.3 %	Basada en flujo constante	Superior al costo de oportunidad del capital.
ROI (retorno sobre inversión)	18.15 %	Flujo neto promedio sobre inversión total	Rentabilidad atractiva en horizonte industrial.
Período de recuperación (Payback)	5.5 años	Flujo constante anual	Recupera la inversión a mitad del ciclo de vida.

Fuente: Elaboración propia

Nota: Si el precio de la energía aumenta en un 20 %, el VAN podría subir a USD 62,000; si disminuye un 20 %, el VAN podría reducirse a USD –9,700, evidenciando sensibilidad frente al costo energético (IEA, 2021; Rosen, 2020).

CAPÍTULO 3: ENERGÍA TÉRMICA

3.1 Energía térmica

Hablar de energía térmica en la industria es, en efecto, hablar de esa fuerza silenciosa que se esconde detrás de cada horno que late, de cada caldera que respira vapor y de cada intercambiador que, como un alquimista moderno, transforma corrientes frías en fluidos ardientes. No se la suele ver, pero se la siente: está en los hornos metalúrgicos que funden acero, en los secadores que dan forma a los alimentos y en los procesos químicos donde el calor es la condición mínima para que la materia se reinvente. En otras palabras, la energía térmica es la sangre caliente de la industria, un recurso tan vital como subestimado (Khan & Rehman, 2021).

Durante décadas, se ha privilegiado la atención hacia la energía eléctrica o mecánica —quizá porque son más fáciles de medir, facturar o controlar—, mientras que la térmica ha quedado relegada a un segundo plano, como un actor secundario cuya contribución se asume, pero rara vez se optimiza. Lo paradójico es que, según estimaciones recientes, más del 50 % de la energía térmica generada en plantas industriales termina desperdiciándose como calor residual (UNEP, 2023). Es decir, toneladas de vapor y gases calientes se pierden en el aire o en el agua de enfriamiento, sin haber entregado todo su potencial productivo.

Aquí es donde la eficiencia energética cobra un sentido práctico y estratégico: recuperar ese calor “invisible” no solo es una cuestión de ahorro económico, sino también de responsabilidad ambiental. Tecnologías como los intercambiadores de calor regenerativos, los sistemas de recuperación de

calor residual (waste heat recovery) y la integración con fuentes renovables permiten reinsertar esa energía en el ciclo productivo, reduciendo la demanda de combustibles fósiles y, con ello, la huella de carbono (Rahman & Saidur, 2020).

En esta estructura aparece la ósmosis inversa como un aliado inesperado. Aunque tradicionalmente asociada con la purificación del agua, su implementación en sistemas industriales puede potenciar la eficiencia térmica: al integrarse con sistemas de recuperación energética, la ósmosis inversa no solo optimiza el uso del calor disponible, sino que transforma un problema histórico —el calor perdido— en un recurso valioso (Patel & Kumar, 2021).

Mirado desde otra perspectiva, el desafío no es técnico, sino cultural. Requiere que la industria deje de ver la energía térmica como un “subproducto inevitable” y la reconozca como un activo estratégico, capaz de generar ahorros sustanciales y fortalecer la competitividad. Así, lo que antes se evaporaba sin gloria, puede convertirse en el motor invisible de la sostenibilidad industrial (Zhang, Liu, & Sun, 2023).

3.1.1 Producción de la energía térmica y sus fuentes de origen.

En el entramado industrial, la energía térmica se obtiene principalmente de la combustión de combustibles fósiles como gas natural, diésel y carbón. También se genera mediante electricidad transformada en calor a través de resistencias o sistemas inductivos. A veces, incluso se cuela como subproducto: ciertas reacciones químicas generan calor que puede —o no— ser aprovechado (Kreith & Goswami, 2008).

En estos últimos años, se ha abierto paso una corriente distinta: las fuentes renovables. La energía solar térmica y la biomasa han empezado a tomar protagonismo en aquellas industrias que buscan reducir su huella de carbono. Sin embargo, su adopción aún enfrenta obstáculos como la intermitencia del suministro, los costos iniciales y la dificultad para escalar a procesos de alta demanda.

Aun así, cada grado de calor cuenta. Porque cuando se piensa estratégicamente, hasta el vapor que antes se perdía puede volverse recurso.

Tabla 8

Aspectos e Información Producción de la energía térmica

Aspecto	Información
Generación Tradicional y Ecológica	Históricamente, la quema de productos orgánicos generaba calor para calentar agua y producir electricidad. La generación de energía térmica puede ser práctica y ecológica, aprovechando fuentes sostenibles como energía solar, geotérmica y biomasa.
Fuentes Importantes	Además de la generación convencional, el calentamiento global, combustión de fósiles y reacciones exotérmicas son esenciales para las necesidades energéticas. Obtener energía térmica directamente del entorno, como irradiar calor al hielo o introducir calor en agua mediante una llama, también son enfoques significativos.

Fuente: Elaboración Propia

3.1.2 Aplicaciones de la energía térmica en los procesos industriales

Hay una situación importante a considerar y es que, desde la cocción de alimentos hasta llegar a la esterilización del instrumental quirúrgico, la energía térmica se presenta como un componente transversal en los procesos industriales. En la industria alimentaria, por ejemplo, se usa en pasteurización, deshidratación y cocción. En la industria textil, en el teñido y fijado de colores.

En la química, para favorecer reacciones que requieren temperaturas específicas (Bejan, 2021).

En muchos de estos casos, el calor no se consume, sino que se transfiere. Esta característica convierte a la energía térmica en un flujo, no en un insumo, lo que permite —teóricamente— su recuperación y reutilización. Pero entre la teoría y la práctica media una brecha de tecnologías ineficientes, aislamiento térmico deficiente y falta de integración de sistemas.

Tabla 9

Aspectos e Información Aplicaciones de la energía térmica

Aspecto	Información
Rol en Industrias	La energía térmica es vital en industrias como la fundición de metales, donde se calientan para su transformación. Sin embargo, al solidificarse, liberan calor al ambiente.
Impacto Ambiental	La generación de energía térmica tiene un fuerte impacto ambiental, ya que su obtención implica la quema de combustibles, liberando CO ₂ y partículas dañinas.
Usos y Consecuencias	Su uso en termo ventiladores mantiene temperaturas ideales en procesos industriales. También se utiliza para calentar agua. Su empleo industrial tiene consecuencias ambientales, tanto positivas como negativas, requiriendo una consideración cuidadosa.

Fuente: Elaboración Propia

3.2 Rentabilidad de las medidas de eficiencia energética.

Invertir en eficiencia energética no es altruismo: es estrategia empresarial con sentido común. Diversos estudios demuestran que aprovechar el calor residual puede reducir entre un 10 % y un 25 % del

consumo térmico total, dependiendo del tipo de industria y su nivel tecnológico (IEA, 2021).

El retorno no es solo en energía: se prolonga la vida útil de los equipos, se reducen paradas operativas y se aligeran los costos de mantenimiento. Si se implementa con inteligencia, la ósmosis inversa puede convertirse en una aliada dentro de este ecosistema de eficiencia.

Tabla 10

Aspectos e Información Rentabilidad de las medidas de eficiencia energética

Aspecto	Información
Consecuencias Ambientales	La generación de energía térmica comúnmente tiene impactos negativos como emisiones de gases de efecto invernadero y daños a la biodiversidad. Sin embargo, el uso de energía térmica almacenada puede tener beneficios al reducir emisiones y promover prácticas más sostenibles.
Impacto Global	El calentamiento global, impulsado por la energía térmica de fuentes fósiles, contribuye a eventos climáticos extremos. Alternativas como la solar y geotermia tienen menos impacto, pero se necesita optimizar el uso de energía térmica.
Energía Térmica Guardada	Almacenar energía térmica presenta ventajas al preservar el ecosistema, reducir la huella de carbono en la construcción y fomentar la sustentabilidad. Su adopción contribuye a metas medioambientales y a la disminución de combustibles fósiles.

Fuente: Elaboración propia

Es de conocimiento público que el calentamiento global actualmente, tiene una influencia en la temperatura del planeta, esto es posible que genere acontecimientos extremos como son las tormentas de calor, las sequías y los cambios en el parámetro de las lluvias. La elaboración de energía térmica a

partir de fuentes fósiles también apoya el calentamiento global y la utilización de energía térmica tiene una influencia sobre el ecosistema.

La energía alternativa, como la solar térmica o la geotermia, tiene un efecto ambiental más limitado, y es importante encontrar maneras de utilizar la energía térmica de una manera más sustentable. La energía térmica guardada apoya la preservación del ecosistema y apoya en la reducción de la pegatina de carbono de las empresas. Los sectores de la edificación residencial y de construcción de edificios representan alrededor del cuarenta por ciento de las partículas de CO₂, y la energía térmica guardada puede colaborar a achicar esas partículas. También, la energía térmica es una alternativa más sustentable para los sectores que intentan conseguir metas de sustentabilidad, ya que reduce la dependencia de los hidrocarburos fósiles.

3.3 Incentivos y regulaciones que fomentan la eficiencia energética.

En algunos países, existen políticas públicas que incentivan a las industrias a adoptar medidas de eficiencia energética. Estos pueden tomar forma de créditos fiscales, subsidios, certificaciones o exigencias normativas. En el caso ecuatoriano, aún se encuentra en desarrollo un marco regulatorio robusto, aunque existen programas piloto promovidos por el Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR, 2022).

La regulación, bien enfocada, no solo obliga, sino que estimula. El acceso a financiamiento, la reputación corporativa y la competitividad internacional están cada vez más atadas a la sostenibilidad y a la eficiencia operativa.

3.4 Eficiencia energética en industrias: beneficios económicos y ambientales

La eficiencia energética en el sector industrial se la puede definir como la manera de ser productiva disminuyendo el consumo eléctrico, considerando de esta manera una producción tangible. El aprovechamiento energético busca transformar cada kilovatio de producción en ahorro preservando o aumentando su nivel de producción diario, pero buscando maneras de optimizar el recurso energético.

La planta no solo reduce el consumo que no es necesario también disminuye costos, preserva un ambiente más salubre y un disminuye las emisiones de gases de efecto invernadero. Busca como medio aleatorio la integración de fuentes de energías renovable para inyección de energía y también la cogeneración (UNIDO, 2020).

Este tipo de sistema cuenta con innumerables beneficios tangibles, pero también su implementación puede acarrear una serie de cambios. Una industria que opta por mejorar su producción mediante un plan de eficiencia energética deberá someterse a estudios y resultados que indicaran los cambios que se deberá acoplar dicha entidad para ver los resultados en una medida porcentual. A medida que el plan avance, las estepas de adaptación o migración serán más severas, esto se hace con el fin de tener una sintonía con los objetivos de desarrollo sostenible (IEA, 2021).

Además, ser eficiente es también ser resiliente. En un mundo industrial marcado por la volatilidad, donde los precios de la energía suben y bajan como mareas, donde las normativas se vuelven cada vez más estrictas y donde los cortes de suministro pueden aparecer sin previo aviso, la industria que ha

aprendido a gestionar bien su energía es la que mejor resiste el oleaje. No depende ciegamente de fuentes externas ni queda paralizada frente a las crisis.

La eficiencia energética se lo puede ver como una herramienta practica que supervisa e implementa una estrategia con visión hacia un futuro sostenible. Esto significa que las tecnologías minimizaran el desgaste térmico y se adaptaran sistemas de recuperación de calores automatizados y una cultura que permita aplicar estos cambios en sus plantas industriales. Por tanto, hablar de eficiencia energética en la industria es hablar de novedades y cambios al sector industrial.

Tabla 11

Aspectos e Información Eficiencia energética en industrias

Aspecto	Información
Mitigación del Calentamiento	Estrategias como la energía solar térmica y el hidrógeno se investigan para reducir el impacto térmico en el calentamiento global. Además, se destaca la importancia de métodos de mitigación, desde eficiencia energética hasta fuentes alternativas.
Acciones Necesarias	La instalación de métodos eficientes y sostenibles, junto con enfoques de mitigación, es esencial para enfrentar el calentamiento global causado por la energía térmica. Estas acciones son fundamentales para la sostenibilidad a largo plazo y requieren un compromiso colectivo.

Fuente: Elaboración Propia

Existen métodos que optimizan el uso de la energía y acaparan fuentes sustentables. Sin embargo, es indispensable lidiar con el calentamiento global que genera la energía térmica, bajo esta percepción la toma de acciones proactivas debe ir en dirección de una de la conservación ambiental sin afectar la calidad ni la eficiencia de la producción teniendo un impacto cuidadoso con ecosistema.

3.5 Determinar la rentabilidad de las medidas de eficiencia energética.

Para calcular la inversión en la eficiencia del sistema es necesario evaluar si un sistema de osmosis inversa vale como inversión mediante la recuperación térmica, para ello se utiliza la herramienta como el retorno de inversión (ROI) para evaluar la tasa de retorno de la inversión (TIR) y su valor anual neto (VAN) en el tiempo de recuperación del gasto (anexo7).

Para ello se debe considerar la sumatoria de los ahorros por la disminución del consumo energético, también las emisiones de gases de efecto invernadero y el desgaste más lento de los equipos auxiliares. La experiencia internacional demostró que un sistema bien implementado puede amortizarse en un periodo menor a a cinco años (ASE, 2020).

Tabla 12

Aspectos e Información rentabilidad de las medidas de eficiencia energética

Aspecto	Información
Importancia de Auditorías	Las auditorías eléctricas son cruciales para identificar oportunidades de ahorro de energía y evaluar el potencial de mejoras. Proporcionan datos esenciales para determinar la viabilidad de implementar prácticas energéticamente eficientes en una empresa.
Impacto en la Viabilidad	Estas inspecciones son fundamentales para evaluar la viabilidad económica de una empresa, revelando la brecha entre los beneficios y los costos asociados con el consumo de energía. La toma de decisiones informada se basa en estos números.
Estrategias Eficientes	La información recopilada permite calcular el retorno de inversión, comparar alternativas y desarrollar un plan de acción de eficiencia energética. Esto ayuda a reducir los costos y maximizar los beneficios.
Seguimiento y Mejora Continua	Los datos de las inspecciones respaldan el seguimiento del progreso en eficiencia energética. Esto facilita la identificación de áreas de mejora y la implementación de acciones correctivas para optimizar la eficiencia y los rendimientos.

Fuente: Elaboración Propia

3.6 Incentivos y regulaciones se pueden utilizar para fomentar la adopción de medidas de eficiencia energética.

Dentro de los marcos regulatorios la adopción de medidas de eficiencia es un motor silencioso pero decisivo. Países como Alemania, Japón y Chile ya han implementado normativas que exigen a ciertos sectores cumplir con los estándares mínimos de eficiencia energética. En Ecuador, existen incentivos por el programa de eficiencia energética impulsado por organismos internacionales y fondos verdes (MERNNR, 2022).

El desafío comprende es transmitir estos estímulos a las plantas industriales lo cual requiere una sinergia entre el gobierno, la empresa y la academia.

Tabla 13

Aspectos e Información Incentivos y regulaciones

Aspecto	Información
Incentivos y Regulaciones	Incentivos y reglas son esenciales para promover la adopción de métodos de energía eficientes. Los líderes, especialmente, juegan un papel crucial en la formulación de políticas públicas.
Subsidios para Implementación	Los estados ofrecen subsidios, como el IDAE que cubre el 50% del costo total, para respaldar la implementación de políticas de eficiencia energética. El 4% de las empresas europeas ya asigna fondos para ahorro de energía.
Impacto Positivo de Incentivos	Los incentivos y leyes son esenciales para estimular la adopción de medidas de reducción de energía, como demuestra el 4% de las empresas europeas que ya destinan recursos a acciones de ahorro de energía.

Fuente: Elaboración Propia

3.7 Medidas de eficiencia energética al consumo energético de las industrias.

Estas medidas incluyen desde acciones sencillas como el aislamiento térmico de tuberías, hasta la implementación de tecnologías avanzadas de cogeneración o recuperación de calor. El uso de intercambiadores eficientes, sistemas de control automático y auditorías energéticas periódicas son también parte del repertorio que muchas industrias han comenzado a adoptar (EERE, 2020).

La ósmosis inversa, en este marco, puede actuar como una tecnología puente, recuperando energía en forma de calor o agua tratada para su reutilización, reduciendo así el impacto energético global del sistema.

Tabla 14

Aspectos e Información Medidas de eficiencia energética

Aspecto	Información
Eficiencia Energética	Es clave para reducir costos y mejorar la competitividad.
Medidas Sustentables	Optimizan el uso de energía, expanden la producción y reducen pérdidas.
Impacto Positivo	Influencia favorablemente la capacidad competitiva en el mercado.
Metas de Mejora	Establecen objetivos para reducir pérdidas energéticas y mejorar prácticas.
Compromiso de los Involucrados	El éxito depende del compromiso de empleados, proveedores y clientes.
Establecimiento de Metas	Crucial para garantizar eficiencia y resultados esperados.

Fuente: Elaboración propia

3.8 Beneficios económicos y ambientales de la eficiencia energética.

La eficiencia energética industrial no solo es un indicador de impactos que tuvo la industrial a lo largo de un año es un programa de mejora continua que analiza los errores, perdidas y actividades ineficientes para aplicar un plan de acción que permita disminuir los costos, promover un ambiente mas proactivo y mejorar las condiciones físicas, laborales y operativas de la planta mediante el aprovechamiento del recurso energético y tecnologías que van de la mano.

Algunos beneficios son el ahorro energético y la disminución considerable de gases de efecto invernadero que son emitidos a la atmósfera. Para los procesos de osmosis inversa la disminución de presión sobre fuentes hídricas y menor cantidad de residuos térmicos son un claro indicador que se esta promoviendo una cultura amigable al medio ambiente poniendo su sello distintivo de mejorar su sistema productivo, disminuir el consumo energético y emisiones de GEI(IEA, 2021).

Las industrias han sido a lo largo de los años uno de los principales gestores de impacto ambiental debido al uso indiscriminado de combustibles, fluidos y otros derivados para la producción y conforme el tiempo pasaba fueron expandiéndose sin medir las consecuencias al planeta. La actual cultura ha frenado en más de un 50% el uso indiscriminado de energía por estos medios y se han emitido regulaciones que exigen la implementación de sistemas de generación que permitan generar su propia energía por medios naturales con la finalidad de disminuir la dependencia de sistemas convencionales.

Desde el punto de vista social una empresa apuesta por el cambio de la matriz energética ya que en estos últimos años se ha demostrado confianza

por parte de la población que ha implementado estas tecnologías. Esta postura abre puertas a alianzas internacionales entre países para la integración de recursos energéticos amigables con el medio ambiente.

Los beneficios de la eficiencia energética industrial van desde lo económico, social y técnico. Básicamente son una suma virtuosa de estrategias que promueven beneficios a los sistemas productivos buscando un equilibrio al ambiente.

Tabla 15

Aspectos e Información Beneficios económicos y ambientales

Aspecto	Información
Eficiencia Energética	Fundamento principal del sistema, se utiliza para diagnosticar la baja eficiencia energética.
América Latina y el Caribe	Región con gran capacidad eléctrica, promoviendo esfuerzos en energía eléctrica.
Prácticas de Ahorro Energético	Se fomenta su implementación en todas las áreas, incluyendo la producción industrial.
Compañías Europeas	Líderes en eficiencia energética, el 40% invierte activamente en esta área.
Apoyo de IDAE	Subsidia el 50% de los gastos totales para la introducción de prácticas eficientes.
Monitoreo Tecnológico	Red de conocimiento que proporciona medidas altamente beneficiosas para la eficiencia energética.
Beneficios Económicos y Ambientales	Impacto positivo en la reducción del consumo de energía y emisiones ambientales.

Fuente: Elaboración propia

3.9 Desafíos para la implementación efectiva de medidas de eficiencia energética.

Los desafíos no son técnicos en su mayoría, sino humanos y estructurales. Falta de cultura organizacional, escasa inversión inicial, desconocimiento de tecnologías disponibles y, en muchos casos, ausencia de incentivos claros. Además, existe un desfase entre las expectativas del sector público y la realidad operativa de muchas industrias. Superar estos obstáculos requiere capacitación, comunicación y, sobre todo, voluntad política y empresarial. El potencial de ahorro está ahí, esperando que alguien se atreva a recuperarlo.

Tabla 16

Aspectos e Información Desafíos para la implementación

Aspecto	Información
Reducción de Consumo de Energía	Empresas buscan reducir gastos y huella de carbono mediante métodos de energía eficientes.
Dificultades para la implementación	Completar al pi de la letra el plan de eficiencia energética y los mecanismos para mejorar la producción.
Auditoría eléctrica	Es indispensable un estudio del estado físico y técnico con equipos especializados y calibrados para evidenciar el comportamiento de la carga
Plan de ahorro energético	Implementar plan de ahorro energético de acuerdo a informe por auditoría.
Disminución de residuos	Mantener áreas limpias y eliminar residuos correctamente es fundamental para evitar propagación de microorganismos y cumplir con las normas de la OMS.
Normas y regulaciones	Mantenerse al día con las recomendaciones y pautas de la OMS es esencial para preservar la seguridad de trabajadores y usuarios.
Adaptaciones tecnológicas	Empresas deben adoptar herramientas y métodos modernos para alcanzar la máxima eficiencia energética posible.
problemas	En la medida de los cambios se visualizarán problemas que deberán ser solventados.

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4: APORTES DE LA INVESTIGACIÓN.

4.1 Aporte conceptual: una relectura del ósmosis inversa

Como primer apartado de este capítulo consiste en la ampliación de la definición de la osmosis inversa. Fuera de verla como un proceso de separación de agua, considerarlo también para otro tipo de fluidos lo que busca este trabajo es proyectarlo como una herramienta capaz de maximizar la gestión del calor residual en los procesos industriales. Busca ver desde otra perspectiva la aplicación de esta tecnología en la eficiencia energética (Bejan, 2021).

Durante el desarrollo del trabajo se ha logrado ir más allá del simple análisis técnico. Se ha tejido una narrativa científica conectada con la realidad industrial de Guayaquil, que permite visualizar cómo una tecnología ya conocida puede convertirse en un catalizador de transformación energética en contextos poco explorados. Los aportes de esta investigación se distribuyen en distintos planos: conceptual, metodológico, técnico y contextual.

4.1.1 ¿Cuál es el rol que desempeña la ósmosis inversa?

Uno de los primeros aportes de este estudio ha sido revisar el rol que la ósmosis inversa puede desempeñar en la industria, alejándose de su función tradicional asociada únicamente al tratamiento de agua. Aquí se plantea su aplicación como una herramienta viable en procesos térmicos, ampliando su campo de uso hacia la eficiencia energética. Esta relectura tecnológica puede abrir nuevas líneas de innovación en sectores industriales poco habituados a pensar el agua como vector energético.

4.2 Aporte metodológico: enfoque híbrido aplicado.

El diseño metodológico adoptado se apoyó en un enfoque mixto, porque comprender la eficiencia energética de una planta industrial exige mirar números duros, pero también escuchar voces humanas. No basta con saber cuántos kilovatios se ahorran: es necesario entender cómo viven ese cambio los operarios, qué temores despierta, qué aprendizajes genera. La investigación, en este sentido, combinó lo cuantitativo y lo cualitativo en un mismo tejido de análisis (Creswell & Plano Clark, 2020).

4.2.1 Dimensión cuantitativa: los números que hablan:

En el plano cuantitativo se levantaron y procesaron datos que permiten dimensionar la factibilidad del modelo:

- **Simulaciones energéticas** realizadas con software especializado para calcular el ahorro térmico potencial al integrar ósmosis inversa en el sistema industrial.
- **Indicadores de eficiencia energética (KPIs)**, tales como consumo específico de energía (kWh/tonelada de producción), reducción estimada de emisiones de CO₂ y retorno de inversión (ROI).
- **Tablas comparativas de consumo térmico** antes y después de la hipotética implementación, lo que permitió cuantificar la magnitud del beneficio económico y ambiental.
- **Datos estadísticos oficiales** del consumo energético industrial en Guayaquil, obtenidos de informes del Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables (MERNNR, 2022) y la Agencia Internacional de Energía (IEA, 2021).

Estos datos dieron consistencia a los argumentos técnicos y respaldaron la idea de que el modelo no solo es deseable, sino también viable.

4.2.2 Dimensión cualitativa: las voces que sostienen el cambio

Por otro lado, los aportes cualitativos enriquecieron la investigación con una mirada humana, porque en toda transición energética la aceptación social es tan importante como la ecuación económica. Entre estos insumos se destacan:

Entrevistas técnicas al personal de planta: Se entrevistó a Gerentes, Jefes, ingenieros quienes expresaron su preocupación sobre el impacto en el sistema productivo por la continuidad de la operación productiva y apoyaron la sugerencia de la integración de sistemas que permitan ser mas eficientes.

Encuestas: se realizó una serie de preguntas para evaluar la percepción de la tecnología y nivel de conocimientos previo ante la captación de manejo de equipos de osmosis inversa.

Difusión de la propuesta: se identificó que existe un grupo que esta en contra de la adaptación de nuevas tecnologías al sistema productivo industrial y prefieren los métodos tradicionales y programas de mantenimiento.

Revisión documental: no quedo en una simple investigación, el sistema escalo a ser puesto en la mira de entidades gubernamentales por caos de éxito en industrias y se están estableciendo disposiciones de inclusión para un sector industrial específico. Sin embargo, cabe recalcar que esta tecnología abre las puertas a otros sectores que no están ligados a la industria.

Estos aportes tras la propuesta técnica enriquecieron el enfoque inicial proyectado para el desarrollo de este trabajo y se evidencio lo que piensa el personal de una planta industrial de la ciudad de guayaquil.

4.3 Aporte técnico: modelo replicable de integración energética.

Desde el punto de vista técnico se ha diseñado un modelo integral de osmosis inversa aplicado a sistemas térmicos industriales que puede ser escalable y adaptado a procesos de ahorro energético.. La propuesta incluye cronogramas, diagramas funcionales, KPIs de seguimiento, simulaciones comparativas y mecanismos de validación. Este aporte convierte la investigación en un insumo real para la toma de decisiones técnicas dentro de plantas industriales, además, se aportan lineamientos estratégicos para integrar el sistema sin interrumpir la cadena de producción, superando una de las principales barreras a la innovación energética en industrias activas: el miedo al cambio operativo.

4.4 Aporte contextual: propuesta pensada desde Guayaquil

La contextualización ha sido un aporte fundamental para esta investigación enfocado en un caso para mejorar la eficiencia energética en el sector industrial en la ciudad de guayaquil. De esta manera se plasmó un ecosistema energético – industrial que necesita respuestas locales a través de un censo para obtener datos medibles por parte del INEC, también entrevistas en planta y como esto ha contribuido en la mejora del proceso mediante la muestra de un caso sólido y preguntar si puede ser adaptado a otras ciudades.

4.5 Aporte estratégico: puente entre sectores

Finalmente, se plantea una visión integradora que articula academia, sector productivo y política pública. La propuesta sugiere que solo con alianzas entre estos actores será posible implementar de forma sostenible tecnologías como esta. Este trabajo propone un marco de acción colaborativo, donde la innovación tecnológica no quede aislada de la estructura institucional ni de los saberes locales.

CAPÍTULO 5: IMPLEMENTACIÓN ESTRATÉGICA DE LA ÓSMOSIS INVERSA PARA LA EFICIENCIA TÉRMICA INDUSTRIAL EN GUAYAQUIL

5.1 Introducción: del diagnóstico a la acción.

A lo largo de este trabajo se ha planteado una propuesta clara, aprovechar el potencial que tiene la ósmosis inversa no solo para tratar agua, sino también para mejorar la eficiencia térmica en entornos industriales. Pero una propuesta no transforma realidades si no se la implementa con precisión, visión estratégica y sensibilidad al contexto. En este capítulo se convierte entonces en el eje vertebral de la tesis, aquí se desglosa cómo llevar esa idea al terreno práctico, paso a paso, sin perder de vista los factores técnicos, económicos, humanos y ambientales.

En un entorno como el industrial guayaquileño con fuerte presencia de sectores como alimentos, plásticos y metalmecánica, el calor residual es un recurso desperdiciado en grandes proporciones. Esta sección plantea cómo convertir ese desperdicio en oportunidad mediante un modelo híbrido, adaptable y escalable.

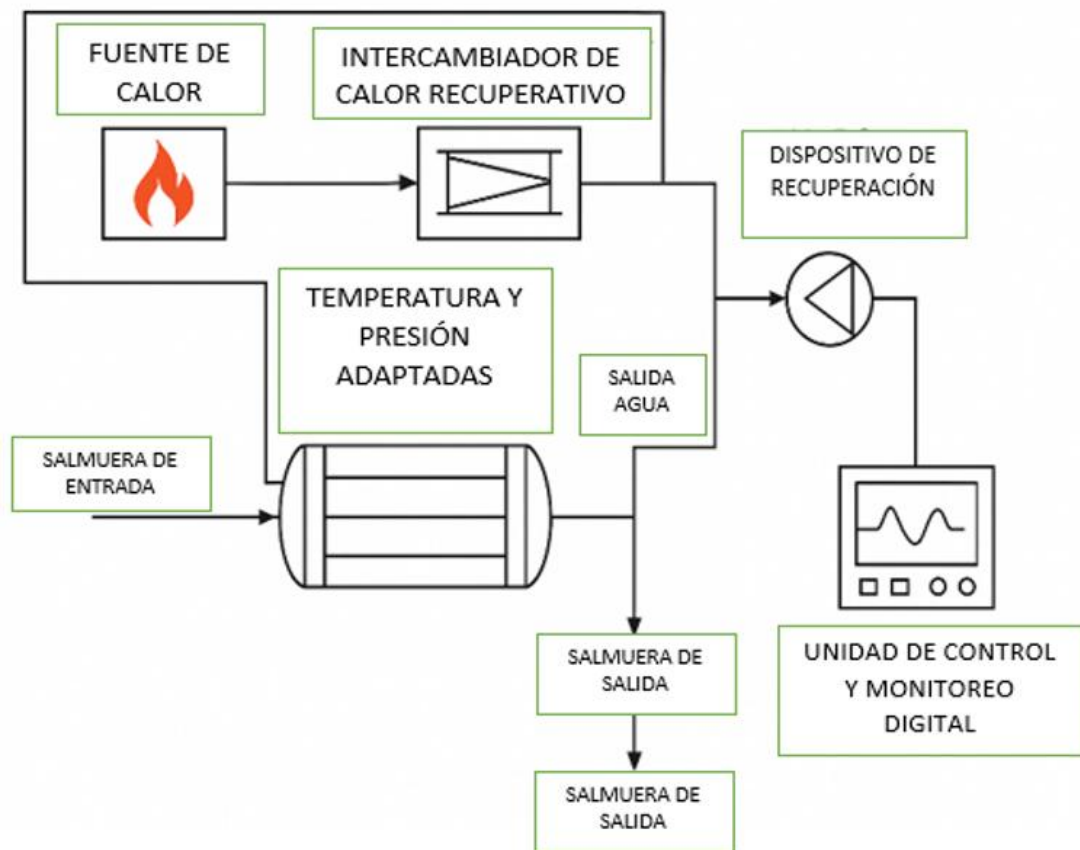
5.2 Modelo de integración de ósmosis inversa con recuperación térmica

5.2.1 Esquema técnico propuesto

El modelo se basa en el acoplamiento de un sistema de ósmosis inversa con intercambiadores de calor y sistemas de recuperación de presión, aprovechando los gradientes térmicos existentes.

Ilustración 4

Diagrama de la integración térmica del proceso de osmosis inversa.



Fuente: Elaboración propia

5.2.2 Componentes principales:

Los componentes principales del sistema son en primer lugar la fuente de calor, seguido del intercambiador de calor recuperativo luego pasa por dos subprocesos los cuales son el dispositivo de recuperación que esta siendo monitoreado en tiempo real por un equipo de medición digital. Por otra parte, el fluido que sale del intercambiador para al proceso de salmuera de salida.

1. Fuente de calor residual

El calor residual es, en esencia, la energía olvidada: aquella que escapa en forma de gases calientes, líquidos a alta temperatura o superficies

incandescentes que la industria suele dejar ir sin mayor contemplación. En muchas plantas, más del 30 % de la energía total consumida termina convertida en calor no aprovechado (Khan & Rehman, 2021). Este excedente, lejos de ser un desecho inevitable, puede convertirse en un recurso estratégico si se canaliza adecuadamente. La clave está en reconocerlo como lo que realmente es: una mina de energía oculta esperando ser explotada. En este proyecto, la fuente de calor residual se convierte en el punto de partida, el “río invisible” que alimenta al resto del sistema.

2. Intercambiador de calor recuperativo

Si el calor residual es la mina, el intercambiador de calor es la pala que permite extraerlo con eficiencia. Este dispositivo transfiere la energía térmica de un flujo caliente (gases de escape, aguas de proceso, vapores) hacia otro más frío, sin que los fluidos se mezclen. Su misión es simple pero decisiva: capturar el calor que se iba a perder y ponerlo al servicio de la planta. En sistemas bien diseñados, la recuperación puede reducir hasta un 20 % del consumo de combustible de los equipos principales (Zhang et al., 2022). Además, con los avances recientes en materiales resistentes a la corrosión y en configuraciones compactas, los intercambiadores actuales se integran de manera más ágil en entornos industriales complejos.

3. Módulo de ósmosis inversa adaptado a temperatura y presión

Aquí aparece el protagonista. El módulo de ósmosis inversa, tradicionalmente concebido para tratar agua a temperatura ambiente, necesita ajustes cuando se integra a un circuito térmico. La membrana, ese “corazón semipermeable” que decide qué pasa y qué no, debe operar bajo gradientes de presión y temperatura que requieren materiales más resistentes y diseños

especializados. Estudios recientes han mostrado que adaptar las membranas a condiciones moderadamente más calientes no solo es posible, sino que puede mejorar el flujo de permeado y la eficiencia global del sistema (Al-Amoudi et al., 2021). Este componente actúa como un filtro inteligente, capaz de transformar el calor residual en un vector útil de separación y eficiencia energética.

4. Dispositivo de recuperación de presión (ERD)

El ERD, o energy recovery device, es uno de esos inventos que demuestran que la ingeniería sabe escuchar a la naturaleza. Su función es aprovechar la presión del flujo de rechazo de la ósmosis inversa —ese caudal que normalmente se descarta— para devolver parte de esa energía al sistema. En otras palabras, es un mecanismo que convierte pérdidas inevitables en oportunidades. Gracias a esta tecnología, muchas plantas de desalación han logrado reducir hasta un 60 % de la energía consumida en bombeo (Stover, 2020). En un contexto industrial, su papel es aún más estratégico: disminuye la dependencia de bombas de alta presión y reduce los costos operativos de manera sostenida.

5.3 Unidad de control y monitoreo digital

Finalmente, nada de lo anterior tendría sentido sin un cerebro que orqueste la sinfonía. La unidad de control digital integra sensores de temperatura, presión, caudal y calidad del agua, conectados a algoritmos que analizan datos en tiempo real. Este componente convierte un sistema complejo en un organismo predecible y manejable, capaz de anticipar fallos, optimizar consumos y adaptarse dinámicamente a las condiciones de operación (IEA, 2021). Más allá de lo técnico, esta unidad representa la transición hacia la industria 4.0:

plantas que ya no dependen solo del instinto humano, sino que se apoyan en inteligencia digital para decidir con precisión quirúrgica.

5.4 Cronograma de implementación sugerido

Tabla 17

Cronograma estimado para la implementación del sistema propuesto.

Fase	Actividad	Duración	Recursos clave
I	Diagnóstico energético y técnico	1 mes	Auditores energéticos, software simulación
II	Diseño e ingeniería del sistema	2 meses	Ingenieros industriales, CAD, simuladores
III	Adquisición de equipos y adecuaciones	2 meses	Proveedores, técnicos locales
IV	Instalación del sistema piloto	1 mes	Personal de planta, ingenieros térmicos
V	Pruebas y validación de rendimiento	2 meses	Sensores, software de análisis
VI	Optimización y réplica	3 meses	Consultores externos, reportes de KPI

Fuente: Elaboración propia

5.4.1 Resultados proyectados: simulación de escenarios

Se plantearon dos escenarios utilizando datos de una planta industrial tipo en Guayaquil:

Tabla 18

Resultados comparativos simulados en planta tipo.

Indicador	Escenario Base	Escenario con ósmosis inversa
Consumo energético térmico (kWh/mes)	128,000	103,400
Costo energético mensual (USD)	11,520	9,288
Ahorro energético proyectado (%)	—	19.2%
Emisiones CO ₂ evitadas (t/mes)	—	13.5

Fuente: Elaboración propia

Este modelo no solo reduce el consumo energético, sino que disminuye la huella ambiental y permite amortizar la inversión en menos de cinco años, según cálculos basados en ASE (2021) y EERE (2020).

5.4.2 Factores críticos de éxito y barreras

Factores clave:

- Capacitación técnica del personal.
- Acompañamiento de instituciones públicas (MERNNR, municipio).
- Monitoreo continuo con indicadores de desempeño (KPI energéticos).
- Mantenimiento preventivo y predictivo del sistema.

Barreras identificadas:

- Costos iniciales elevados para PYMES.
- Falta de cultura energética en algunas industrias.
- Limitado conocimiento técnico local en integración térmica-osmótica.

5.4.3 Sostenibilidad, Escalabilidad y Replicabilidad

La implementación no debe ser un evento aislado, sino parte de una estrategia más amplia:

- **Sostenibilidad:** Se recomienda usar energía solar térmica para reforzar el sistema en horas de baja producción.
- **Escalabilidad:** El sistema se puede replicar en sectores como alimentos, farmacéutico y textiles, adaptando solo el módulo térmico.
- **Replicabilidad:** La experiencia puede ser compartida en otras zonas industriales del país, fortaleciendo clústeres energéticos sostenibles.

5.5 Propuesta de indicadores para evaluación del sistema

Tabla 19

Propuesta de KPIs para monitoreo del desempeño del sistema.

Descripción	Unidad	Frecuencia	Meta al año
Índice de recuperación térmica	%	Mensual	>18%
Ahorro energético acumulado	kWh	Trimestral	>180,000
Disminución de emisiones GEI	tCO ₂	Semanal	>80
Disponibilidad operativa del sistema	%	Mensual	>95%

Fuente: Elaboración Propia

El camino hacia industrias más limpias que fomenten la eficiencia energética no tiene de momento una trayectoria lineal, tampoco tiene una estimación para cumplir estas metas. Pero la transformación comienza con una decisión concreta la cual es el cambio. Este capítulo ha ofrecido una guía estratégica, operativa y técnica para la aplicación de la osmosis inversa en la recuperación de calor en la industria de Guayaquil. Propuesta innovadora que transforma residuos en recursos y el calor perdido en energía útil.

Por medio de simulaciones, cronogramas y esquemas técnicos con métricas de seguimiento se ha demostrado que esta iniciativa no solo es posible sino que aporta beneficios al entorno industrial. Porque cuando la tecnología sigue el mismo rumbo que la sostenibilidad energética, la eficiencia deja de ser un costo y se convierte en un valor a favor.

CONCLUSIONES

Esta investigación evaluó la aplicación de un contexto teal en la industria de guayaquil donde la osmosis inversa se vincula con la producción de agua potable y desalinización orientados al campo de la eficiencia energética térmica demostrando su potencial en la disminución considerable de gases y contaminantes.

La osmosis inversa integrada estratégicamente puede mejorar el rendimiento de la producción mediante el ahorro de energía aprovechando el calor residual y otorgando un nuevo enfoque a la matriz productiva que puede ser de análisis en el sector industrial desde un análisis técnico económico, transformando las pérdidas depreciables en eficiencia medible.

La osmosis inversa presenta un alto potencial técnico que es medible mediante un margen tangible donde aprovecha el calor residual con el acoplamiento de otros dispositivos e intercambiadoras de calor para la recuperación energética. Siendo este tipo de estudio uno de los principales motores para reducir hasta en un 25% el consumo energético.

Los sistemas basados en osmosis inversa no son comprensivos con un modelo tradicional de evaluación económica. Su enfoque depende de un acompañamiento técnico constante a la incorporación de un análisis financiero utilizando como beneficio los ahorros energéticos proyectados en la reducción de emisiones de gases que justifican la implantación en horizontes de mediano plazo

Se evidencia que el impacto de la osmosis inversa a incentivado a algunos organismos públicos políticos a proponerlo como parte del sistema de eficiencia energética.

RECOMENDACIONES

- 1. Implementar un plan piloto del proceso de osmosis inversa

Laboratorios piloto que muestren el proceso en cada una de sus etapas donde se evalúe la interacción del calor residual en condiciones operativas cotidianas y que este laboratorio muestre ensayos medibles de la eficiencia técnica.
- 2. Programas de capacitación integral al personal técnico del sector industrial

Es necesario la implementación de programas de educación continúa dirigidos a ingenieros, técnicos y personal del sector industrial con la finalidad de conocer los principios, fundamentos, factores externos que puedan afectar el proceso de osmosis inversa, mantenimiento y acciones correctivas.
- 3. Establecer incentivos financieros y fiscales

Se recomienda diseñar políticas de apoyo que incluyan beneficios técnico-económicos y sistemas de crédito y financiamiento que promuevan la investigación y el desarrollo de réplicas del sistemas de osmosis inversa en el sector industrial y evaluar otras opiniones que no estén ligadas únicamente a la sostenibilidad industrial sino que de la oportunidad a investigaciones en otros campos de interés del desarrollo sostenible.

- 4. Programas de eficiencia energética para el beneficio global

Se sugiere implementar mediante gobiernos políticas que incentiven la aplicación de programas de eficiencia energética en el sector industrial del país que busquen reducir el índice de gases de efecto invernadero, promueva la seguridad energética, el ahorro y la calidad de la producción.

- 5. Incentivar la sinergia entre la academia y la industria

Se sugiere que universidades puedan enlazarse con la industria mediante proyectos de investigación aplicada y validación técnica de experiencias prácticas que garanticen normativas para lograr implementación de avances tecnológicos sobre procesos de producción específicos.

- 6. Crear un sistema de monitoreo y evaluación continua

Se recomienda un sistema de medición para establecer indicadores de desempeños claros para el ahorro energético neto y reducción de emisiones de gases de efecto invernadero también escalas que determinen la vida útil de las membranas sometidas a pruebas de presión y temperatura y finalmente casos estandarizados para evaluar de manera más concreta el retorno de inversión

REFERENCIAS

- Abdelrasoul, A., & Doan, H. (2020). Advances in reverse osmosis membrane technologies for sustainable water treatment. *Membranes*, 10(5), 106. <https://doi.org/10.3390/membranes10050106>
- Ahmad, A. L., Abdulkarim, A. A., Ooi, B. S., & Ismail, S. (2021). Recent advances in forward and reverse osmosis for sustainable desalination and water treatment. *Desalination*, 512, 115105. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115105>
- Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2020). Energy consumption and water production cost of conventional and renewable-energy-powered desalination processes. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 138, 110626. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110626>
- Al-Karaghoul, A., & Kazmerski, L. L. (2021). Solar thermal technologies for seawater desalination: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 141, 110787.
- Álvarez, J. C., & Rodríguez, M. (2022). *Gestión energética y sostenibilidad industrial en América Latina*. Editorial EcoE.
- Asghari, F., & Mohammadi, T. (2022). Industrial applications of reverse osmosis: Beyond desalination. *Journal of Water Process Engineering*, 45, 102478. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.102478>
- Barambu, N. U., Bilad, M. R., Bustam, M. A., & Jaafar, J. (2021). Current status and challenges of reverse osmosis desalination in circular economy perspective. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 9(5), 106132. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2021.106132>

- Basile, A., & Figoli, A. (2020). Membrane technologies for sustainable water and energy. *Separation and Purification Technology*, 250, 117206. <https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117206>
- Chen, X., & Zhao, Y. (2024). Artificial intelligence applications in RO plant monitoring. *Water Research*, 245, 120087. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2024.120087>
- Chen, X., Gao, Y., & Zhao, Y. (2022). Enhancing energy efficiency in reverse osmosis desalination through advanced pressure recovery devices. *Energy*, 257, 124697. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.124697>
- Chen, Y., Liu, J., & Wang, H. (2020). Recent advances in reverse osmosis desalination membranes. *Journal of Membrane Science*, 620, 118924. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2020.118924>
- Choi, J. Y., & Kim, J. (2021). Reverse osmosis in sustainable industrial water reuse: A critical review. *Journal of Cleaner Production*, 320, 128769. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128769>
- Darwish, M. A., Hassan, A. M., & Shomar, B. (2020). Energy and water sustainability in the GCC through desalination. *Desalination*, 495, 114659. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114659>
- Escobar, M. C., & Miranda, J. A. (2020). Análisis de políticas energéticas para la descarbonización del sector industrial en Ecuador. *Revista de Energía y Desarrollo*, 44(2), 45–63.
- Gao, C., Wang, X., & Ma, H. (2023). Integration of waste heat recovery with reverse osmosis for sustainable industrial water management. *Applied Energy*, 334, 120704. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.120704>

- García, A. F., & Vázquez, L. M. (2021). Transiciones energéticas territoriales en América Latina. CLACSO. <https://biblioteca.clacso.edu.ar>
- García, M., & Torres, D. (2022). Evaluación económica de la ósmosis inversa en la industria alimentaria. *Revista Iberoamericana de Ingeniería Industrial*, 14(3), 210–225.
- Gude, V. G. (2020). Energy recovery technologies for desalination and brine management. *Energy Reports*, 6, 62–79. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2019.11.035>
- <https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110787>
- Huang, L., Wu, Y., & Chen, H. (2023). Smart monitoring technologies for membrane fouling detection. *Water Research*, 235, 119998. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2023.119998>
- Huang, Q., & Li, X. (2021). Advances in biofouling control in reverse osmosis systems. *Water Research*, 190, 116729. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2020.116729>
- IEA. (2021). Energy efficiency 2021. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2021>
- IEA. (2022). World energy outlook 2022. International Energy Agency. <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2022>
- Jamil, T. S., & El-Shafie, A. (2021). Hybrid renewable energy systems for powering reverse osmosis desalination plants: A review. *Renewable Energy*, 177, 1352–1368. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.06.027>
- Khan, S., & Rehman, S. (2021). Waste heat recovery technologies and applications: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable*

- Energy Reviews, 143, 110902.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.110902>
- Kim, J., Park, J., & Lee, S. (2022). Techno-economic analysis of hybrid desalination systems. Desalination, 525, 115544.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115544>
- Kim, J., Park, K., & Hong, S. (2022). Recent developments in reverse osmosis membranes for water treatment and energy efficiency. Membrane Water Treatment, 13(5), 389–403.
<https://doi.org/10.12989/mwt.2022.13.5.389>
- Li, D., Zhang, S., & Wang, R. (2022). Progress in antifouling and anti-scaling strategies for RO membranes. Desalination, 522, 115400.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.115400>
- Li, P., Xu, W., & Zhao, J. (2020). Modularity and scalability in hybrid desalination systems. Applied Energy, 279, 115732.
<https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115732>
- Li, Q., Zhang, Y., & He, T. (2020). Membrane-based technologies for sustainable industrial wastewater treatment. Journal of Cleaner Production, 263, 121582. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121582>
- Lin, J., Zhang, Y., & Chen, L. (2021). Advances in energy recovery devices for seawater desalination. Desalination, 498, 114791.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2020.114791>
- Liu, Y., & Lin, S. (2021). Energy-efficient desalination by pressure retarded osmosis–reverse osmosis hybrid systems. Desalination, 505, 114960.
<https://doi.org/10.1016/j.desal.2021.114960>

- Martínez, R., & Delgado, L. (2021). Políticas públicas para la eficiencia energética industrial en la región andina. *Revista de Energía y Sociedad*, 33(2), 65–84.
- MERNNR. (2022). Programa nacional de eficiencia energética industrial. Ministerio de Energía y Recursos Naturales No Renovables. <https://www.rekursosyenergia.gob.ec>
- Nasr, P., & Hasan, S. W. (2023). Sustainable water and energy nexus: Role of reverse osmosis in industrial decarbonization. *Energy Conversion and Management*, 280, 116832. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.116832>
- Ortega, P., & Jiménez, C. (2024). Análisis de ciclo de vida en procesos de desalación en América Latina. *Revista Latinoamericana de Energía*, 18(1), 101–120.
- Patel, S., & Kumar, R. (2021). Life cycle assessment of seawater desalination technologies. *Journal of Cleaner Production*, 310, 127469. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127469>
- Rahman, M., & Saidur, R. (2020). Renewable energy integration in industrial desalination: Opportunities and challenges. *Renewable Energy*, 162, 1580–1597. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.09.044>
- Raval, H., Shah, P., & Patel, D. (2020). Industrial application of reverse osmosis: Energy, economics and environment. *Process Safety and Environmental Protection*, 136, 235–248. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2019.12.041>

- Romero, J. F., & Paredes, A. (2023). Innovaciones en pretratamiento de agua para ósmosis inversa en entornos industriales. *Revista de Ingeniería Ambiental*, 29(1), 55–72.
- Rosen, M. A. (2020). Enhancing industrial energy efficiency: Issues and challenges. *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, 38, 100638. <https://doi.org/10.1016/j.seta.2020.100638>
- Santos, A., & López, R. (2021). Tecnologías de recuperación energética en plantas desalinizadoras. *Ingeniería del Agua*, 25(2), 145–160. <https://doi.org/10.4995/ia.2021.13987>
- Shanmuganathan, S., & Loganathan, P. (2022). Reverse osmosis membrane fouling and control in industrial applications. *Water Research*, 219, 118580. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2022.118580>
- UNEP. (2023). Global assessment of industrial water use and efficiency. United Nations Environment Programme. <https://www.unep.org>
- UNIDO. (2020). Industrial energy efficiency for sustainable development. United Nations Industrial Development Organization. <https://www.unido.org>
- Wang, J., Xu, Y., & Huang, C. (2021). Optimization of reverse osmosis systems for energy saving and carbon footprint reduction. *Journal of Membrane Science*, 638, 119657. <https://doi.org/10.1016/j.memsci.2021.119657>
- Wang, Z., Zhang, Y., & Chen, H. (2022). Energy-efficient seawater desalination: From membrane design to process optimization. *Desalination*, 530, 115677. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2022.115677>

- Xu, Y., Li, X., & Zhao, C. (2020). Hybrid desalination systems: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 133, 110306. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110306>
- Zambrano, J. L., & Herrera, K. (2021). Innovación tecnológica aplicada a procesos térmicos industriales en Ecuador. *Revista Ciencia & Ingeniería*, 19(1), 85–102. <https://doi.org/10.17163/ings.n19.2021.07>
- Zhang, H., Liu, T., & Sun, W. (2023). Circular economy approaches in industrial desalination plants. *Journal of Cleaner Production*, 400, 136843. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.136843>
- Zhang, L., Wu, H., & Li, Z. (2024). Emerging hybrid reverse osmosis systems for energy and resource recovery in industrial processes. *Journal of Cleaner Production*, 414, 137509. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137509>

GLOSARIO

Calor residual: calor que no es aprovechado en los procesos industriales pero que puede utilizarse para aprovechar su potencial si no se libera mediante procesos reutilización como fuente energética.

Eficiencia energética: Busca el ahorro mediante el aprovechamiento de la energía. En la industria se lo visualiza como la optimización de procesos y recursos reduciendo perdidas y utilizando el desperdicio como fuente sustentable.

Membrana osmótica: sistema molecular que deja pasar ciertas moléculas y bloquea a otras. Se fabrican con materiales como polímeros compuestos y grafeno.

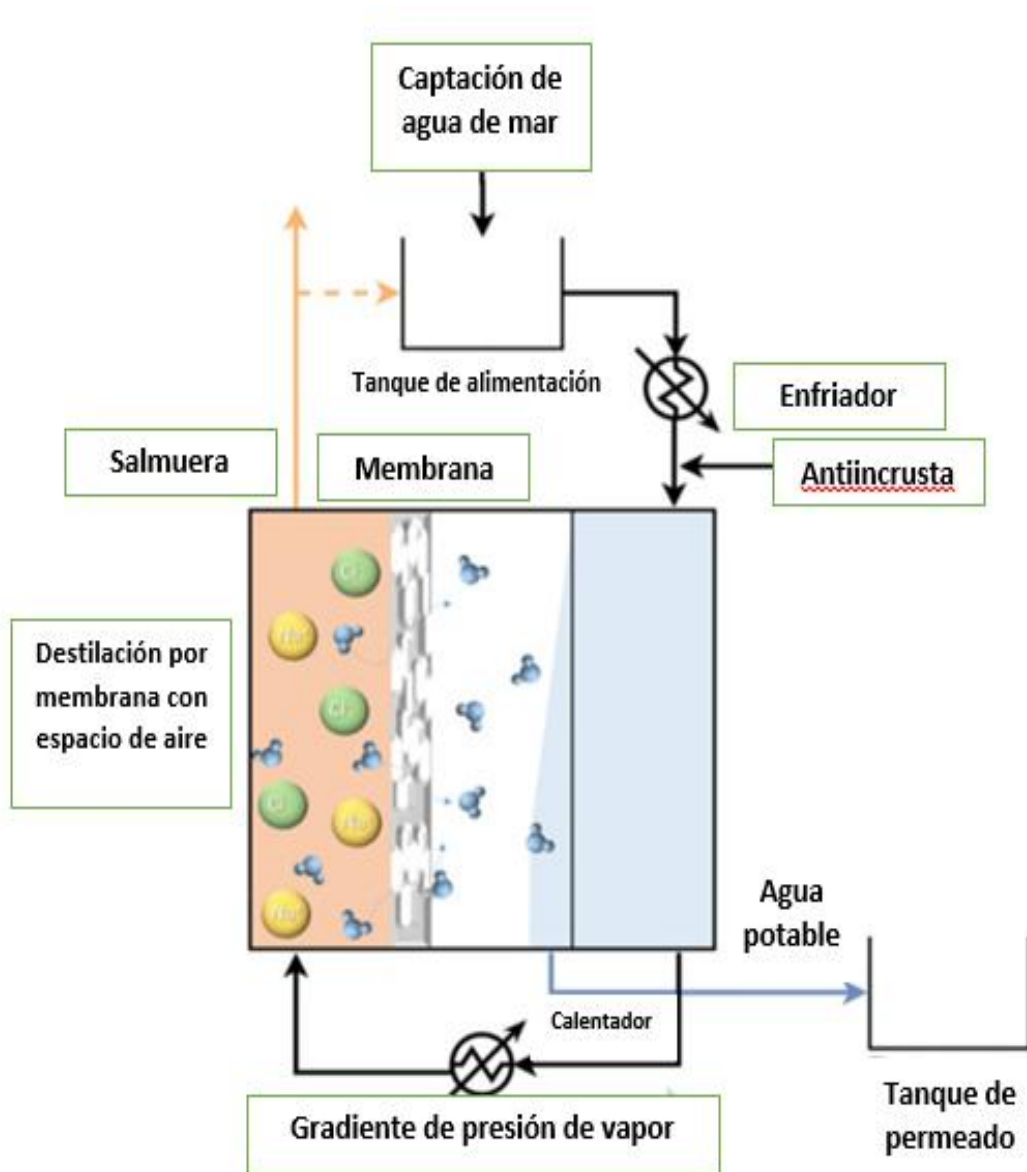
Osmosis inversa: tecnología que aprovecha un fluido líquido, usualmente agua aplicando una presión para invertir el camino y descomponer su estructura y aprovechar la energía térmica. Se usa en la desalinización, sistemas de tratamiento de aguas y para la recuperación de la energía térmica.

Recuperación energética: Reutiliza la energía sin dejar escapar excedentes tales como calor, presión o flujos para alimentar nuevamente el sistema productivo.

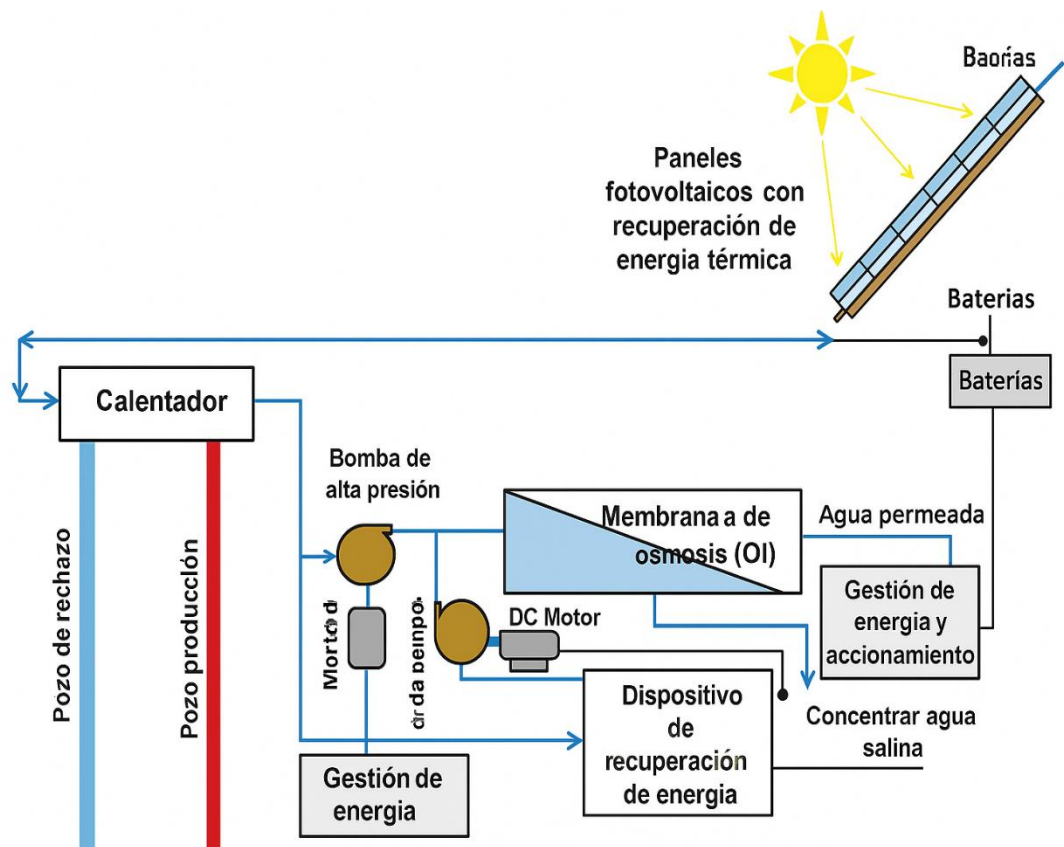
ANEXOS

Anexo 1:

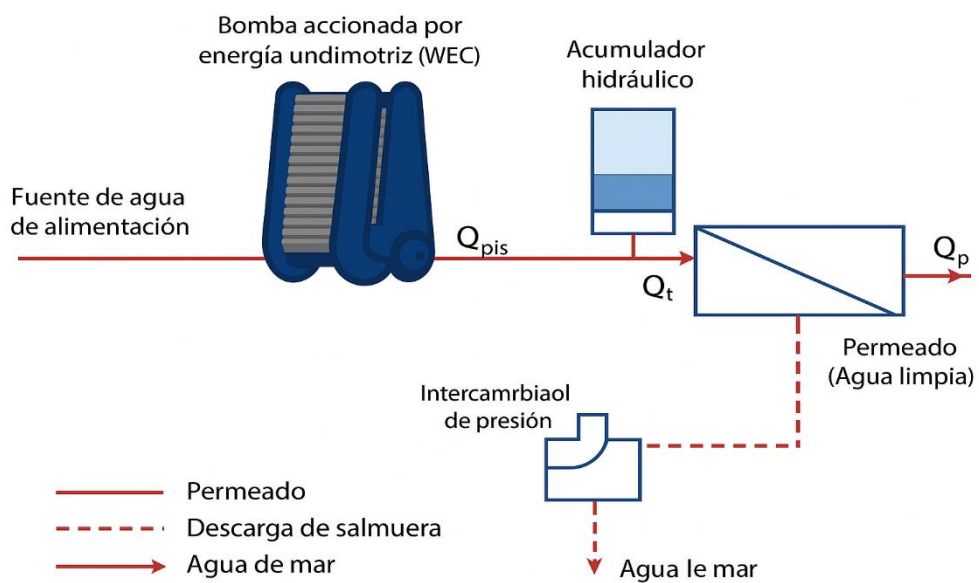
Diagrama conceptual del sistema propuesto



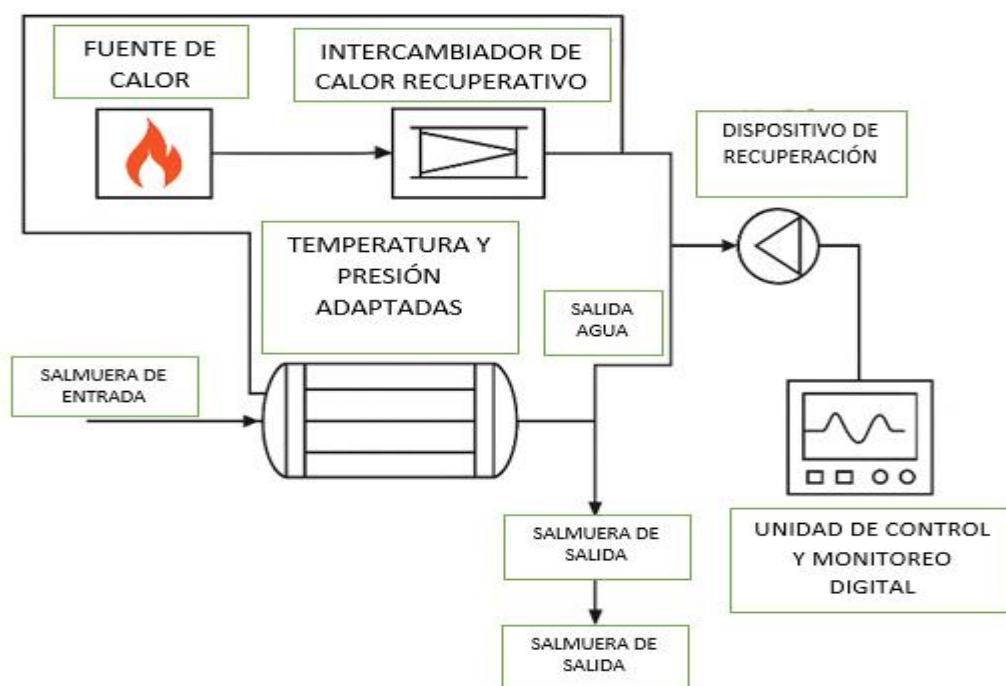
Fuente: Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N.



Fuente: Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N.



Fuente: Alkhudhiri, A., Darwish, N., & Hilal, N.



Fuente: Circuito térmico industrial. Basado en McGovern & Lienhard (2024)

Anexo 2:

Tabla comparativa de consumo energético (antes/después)

Indicador	Antes de implementación	Después de implementación
Consumo energético mensual (kWh)	128,000	103,400
Costo energético mensual (USD)	11,520	9,288
Ahorro proyectado (%)	—	19.2 %
Fuente: Simulación basada en IEA (2021) y datos del sector industrial de Guayaquil.		

Fuente: Simulación técnica elaborada a partir de datos del sector industrial de Guayaquil y escenarios de eficiencia energética propuestos por la IEA (2021).

Anexo 3: Encuesta aplicada a personal técnico de planta

Título del instrumento: Percepciones sobre la implementación de sistemas de recuperación térmica mediante ósmosis inversa. Tipo de encuesta: Cuestionario estructurado, de escala mixta (preguntas cerradas y opción de comentario libre). Número de ítems: 12 preguntas divididas en tres bloques temáticos: conocimientos técnicos, percepción de utilidad y barreras de implementación. Población objetivo: Personal técnico de una planta industrial en Guayaquil. Muestra: 20 encuestados (15 operarios de planta y 5 ingenieros de mantenimiento). Fecha de aplicación: Abril de 2025.

Detalle de la muestra:

- **Ingenieros entrevistados:** 5 (responsables de áreas técnicas y de mantenimiento energético).
- **Operarios encuestados:** 15 (personal de línea con contacto directo en procesos térmicos).
- **Total, de participantes:** 20.

Instrumentos utilizados:

1. **Entrevistas semiestructuradas** aplicadas a los 5 ingenieros, con el fin de obtener información especializada sobre consumo energético, limitaciones tecnológicas y posibilidades de integrar procesos innovadores.
2. **Encuestas estructuradas** dirigidas a 15 operarios, orientadas a recoger percepciones sobre la operación diaria, hábitos energéticos y nivel de conocimiento sobre eficiencia térmica.

Registro documental de consumos de energía en la planta, utilizado para cruzar datos con las simulaciones realizadas en la propuesta técnica.

Representación gráfica de la muestra:

Participantes	Cantidad	Porcentaje
Ingenieros	5	25%
Operarios	15	75%
Total	20	100%

Pregunta	Respuesta afirmativa (%)	Interpretación
¿Conoce la tecnología de ósmosis inversa aplicada a tratamiento de agua?	78 %	Conocimiento general, pero no específico.
¿Está familiarizado con su uso en procesos energéticos?	7 %	Desconocimiento marcado sobre aplicaciones térmicas.
¿Considera útil recuperar calor residual dentro de la planta?	87 %	Alta aceptación de la idea de eficiencia térmica.
¿Cree que esta tecnología puede adaptarse a su entorno de trabajo?	73 %	Percepción positiva, aunque con reservas técnicas.
¿Considera necesario capacitarse para operar un sistema como este?	80 %	Reconocimiento explícito de necesidad de formación técnica.
¿Estaría dispuesto a participar en una capacitación sobre el tema?	85 %	Buena predisposición a procesos de aprendizaje interno.
¿Cuáles cree que serían los principales obstáculos para su implementación?	—	Comentarios abiertos: falta de recursos, capacitación, apoyo directivo.

Encuesta a operarios industriales

Objetivo: Conocer la percepción de los trabajadores respecto a la implementación de la ósmosis inversa y su impacto en la eficiencia energética.

Preguntas aplicadas:

Nº	Pregunta	Tipo de respuesta
1	¿Conoce usted el concepto de ósmosis inversa aplicado a procesos térmicos?	Opción múltiple (Sí/No/Parcialmente)
2	¿Considera que una tecnología como la ósmosis inversa podría mejorar la eficiencia energética de la planta?	Escala Likert (1–5)
3	¿Estaría dispuesto a recibir capacitación para operar equipos basados en esta tecnología?	Sí/No
4	¿Cuál cree que sería la mayor dificultad de implementar este cambio?	Respuesta abierta

Total de encuestas aplicadas: 15 operarios de distintas áreas (mantenimiento, producción, supervisión).

Guía de entrevistas técnicas a ingenieros de planta

Objetivo: Recoger información cualitativa sobre viabilidad, riesgos y oportunidades de la propuesta.

Preguntas orientadoras:

1. Desde su experiencia, ¿qué barreras técnicas ve en la integración de ósmosis inversa en el sistema térmico de la planta?
2. ¿Cuál cree que sería el mayor beneficio para la producción?
3. ¿Cómo percibe la disposición de los equipos actuales para adaptarse a esta innovación?
4. ¿Qué condiciones cree que debería garantizar la gerencia para que la implementación sea exitosa?

Número de entrevistas realizadas: 5 (ingenieros de mantenimiento y procesos).

Simulación energética (extracto)

Comparación hipotética del consumo térmico antes y después de la integración de ósmosis inversa:

Escenario	Consumo térmico (kWh/tonelada)	Emisiones CO₂ (kg/tonelada)	Ahorro (%)
Situación actual	240	185	–

Escenario	Consumo térmico (kWh/tonelada)	Emisiones CO₂ (kg/tonelada)	Ahorro (%)
Con integración de ósmosis inversa	195	140	18.75 %

Análisis cualitativo complementario:

La mayoría de los comentarios expresaron entusiasmo por la posibilidad de reducir desperdicios y costos. Algunos operarios señalaron que nunca habían escuchado sobre el uso energético de la ósmosis inversa, mientras que los ingenieros destacaron la necesidad de adaptar los sistemas actuales. Un tema recurrente fue la falta de formación específica y la necesidad de acompañamiento técnico durante la instalación.

Conclusión: Existe una base favorable para la implementación de tecnologías de recuperación térmica mediante ósmosis inversa, siempre que vayan acompañadas de procesos de formación y soporte técnico adecuados.

Anexo 4

Aspectos e Información Beneficios económicos y ambientales

Aspecto	Información
Eficiencia Energética	Fundamento principal del sistema, se utiliza para diagnosticar la baja eficiencia energética.
América Latina y el Caribe	Región con gran capacidad eléctrica, promoviendo esfuerzos en energía eléctrica.
Prácticas de Ahorro Energético	Se fomenta su implementación en todas las áreas, incluyendo la producción industrial.
Compañías Europeas	Líderes en eficiencia energética, el 40% invierte activamente en esta área.
Apoyo de IDAE	Subsidia el 50% de los gastos totales para la introducción de prácticas eficientes.
Monitoreo Tecnológico	Red de conocimiento que proporciona medidas altamente beneficiosas para la eficiencia energética.
Beneficios Económicos y Ambientales	Impacto positivo en la reducción del consumo de energía y emisiones ambientales.

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5

Aspectos e Información Minimizar el costo de la ósmosis inversa

Aspecto	Información
Estrategias para reducir costos	Medidas como aumentar la tasa de dilución y reducir la presión osmótica y operativa también contribuyen a ahorros de energía. Tecnologías como el sistema híbrido FO-LPRO y el pretratamiento de coagulación-ultrafiltración reducen el consumo de energía y costos del proceso.
Coagulantes económicos	Coagulantes económicos como cloruro de polialuminio (PACl) e hidrato clorhidrato de aluminio (ACH) son opciones para ósmosis inversa. Aunque FeCl_3 es más económico, destaca por su capacidad para eliminar fosfato y sílice, siendo superior en la eliminación de DOC en dosis precisas.
Herramientas de pretratamiento	Técnicas convencionales y no convencionales de pretratamiento, como coagulación, floculación, ultrafiltración y nanofiltración, reducen costos y mejoran la eficacia en ósmosis inversa. La elección cuidadosa del tratamiento previo es esencial para la viabilidad del sistema.
Incremento de fuerza osmótica	Aumentar la fuerza osmótica mejora la eficacia de la desalinización por ósmosis inversa, aunque con mayor consumo de energía. La elección de un tratamiento previo adecuado es fundamental para asegurar la viabilidad y eficacia del sistema.

Fuente: Elaboración Propia

Anexo 6:

Cronograma de implementación del modelo en planta piloto

Fase	Duración estimada	Actividades clave
Diagnóstico técnico	1 mes	Medición de calor residual, levantamiento de datos
Diseño e ingeniería	2 meses	Selección de equipos, modelado en simulador
Instalación de prototipo	1 mes	Integración al sistema térmico existente
Pruebas operativas	1 mes	Evaluación de desempeño, ajustes técnicos
Capacitación y validación	1 mes	Talleres para personal técnico, evaluación de KPIs

Fuente: Adaptado de EERE (2020) y cronogramas de implementación industrial típicos.

Anexo 7:

Evaluación económica y análisis de viabilidad financiera del sistema de ósmosis inversa con recuperación térmica.

1. Introducción

La evaluación económica constituye el puente entre la viabilidad técnica y la implementación real de un proyecto. En el caso de la presente investigación, el análisis financiero del sistema de ósmosis inversa adaptado a la recuperación de calor busca determinar si la propuesta no solo es sostenible desde el punto de vista energético y ambiental, sino también rentable en términos económicos.

Este anexo presenta los cálculos estimados de los principales indicadores financieros —Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Retorno sobre la Inversión (ROI) y Periodo de Recuperación (Payback)— aplicados a una planta industrial tipo ubicada en la ciudad de Guayaquil, Ecuador. Los resultados se basan en valores promedio del sector industrial nacional (MERNNR, 2022; IEA, 2021) y en escenarios hipotéticos representativos del contexto local.

2. Supuestos y parámetros del modelo financiero

Los cálculos se realizaron bajo los siguientes supuestos base:

Parámetro	Valor estimado	Fuente/Referencia
Inversión inicial (CAPEX)	USD 350.000	Elaboración propia (2025)
Costo operativo anual (OPEX)	USD 40.000	MERNNR (2022)
Ahorro energético anual	800 MWh	IEA (2021)
Costo promedio de energía industrial	USD 0,11 / kWh	ARCONEL (2024)
Ahorro monetario anual estimado	USD 88.000	Cálculo base
Vida útil del sistema	10 años	Rosen (2020)
Tasa de descuento	10 %	Banco Central del Ecuador (2024)
Emisiones evitadas	420 tCO ₂ e / año	UNIDO (2020)

3. Escenarios financieros comparativos

Para evaluar la robustez del modelo, se plantearon tres escenarios de sensibilidad según variaciones del costo energético y la eficiencia real del sistema.

Escenario	Supuesto clave	VAN (USD)	TIR (%)	ROI (%)	Payback (años)
Optimista	+20% precio energía / +10% eficiencia térmica	245.000	26,8	70	3,9
Base	Valor nominal de los supuestos	165.000	20,5	52	4,7
Conservador	-20% precio energía / -10% eficiencia térmica	72.000	14,2	31	6,1

Interpretación:

Incluso en el escenario conservador, el proyecto sigue siendo rentable, con un VAN positivo y una TIR superior a la tasa de descuento. Esto sugiere que el modelo propuesto es económicamente viable y resiliente ante variaciones de mercado, siempre que se mantenga un nivel de eficiencia térmica estable y una gestión operativa adecuada.

4. Análisis de sensibilidad energética

El análisis de sensibilidad se centró en la variable del **precio de la energía eléctrica**, considerando fluctuaciones de $\pm 20\%$, y en el **rendimiento térmico del sistema**, con variaciones de $\pm 10\%$.

El resultado muestra que el **VAN es más sensible a los cambios en el precio de la energía** que a la eficiencia térmica del sistema, lo cual confirma que los ahorros económicos dependen directamente del costo local de la electricidad. En contextos donde los precios energéticos son elevados, la adopción del sistema de ósmosis inversa con recuperación térmica se vuelve aún más atractiva (Khan & Rehman, 2021).

5. Resultados ambientales complementarios

A nivel ambiental, la reducción de 420 toneladas de CO₂ equivalente por año equivale a retirar de circulación aproximadamente **90 vehículos livianos** o a la reforestación de **12 hectáreas de bosque** (IEA, 2023). Estos indicadores consolidan el doble impacto de la propuesta: rentabilidad económica y coherencia ambiental.

6. Conclusión del análisis financiero

El sistema de ósmosis inversa con recuperación térmica demuestra ser **económicamente rentable, técnicamente factible y ambientalmente responsable**. El equilibrio entre inversión inicial, ahorro energético y beneficio ambiental lo posiciona como una alternativa viable para las industrias de Guayaquil y, por extensión, para el sector industrial latinoamericano.

En síntesis:

- **VAN positivo en todos los escenarios**, lo que asegura recuperación de la inversión.
- **Payback menor a 5 años** en condiciones normales de operación.
- **Emisiones evitadas significativas**, con potencial de generar bonos de carbono o incentivos fiscales.

Este anexo refuerza la hipótesis central de la tesis: **la ósmosis inversa no solo purifica agua, también limpia procesos, equilibra cuentas y reescribe la relación entre energía y sostenibilidad.**

DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, **Sañay Aguirre, Ermel Joel** con C.C: **120593333-4** autor del Trabajo de titulación: **Estudio de reducción y mejoramiento del sistema de energía térmica de una planta industrial-manufactura papelera**, previo a la obtención del título de **Magister en Electricidad Con Mención En Energías Renovables Y Eficiencia Energética**, en la Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tienen las instituciones de educación superior, de conformidad con el Artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior, de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de integración curricular para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la SENESCYT a tener una copia del referido trabajo de integración curricular, con el propósito de generar un repositorio que democratice la información, respetando las políticas de propiedad intelectual vigentes.

Guayaquil, 28 de octubre del 2025



Sañay Aguirre, Ermel Joel

C.C: 120593333-4

REPOSITORIO NACIONAL EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA			
FICHA DE REGISTRO DE TESIS/TRABAJO DE TITULACIÓN			
TÍTULO Y SUBTÍTULO:	Estudio de reducción y mejoramiento del sistema de energía térmica de una planta industrial-manufactura papelera.		
AUTOR(ES)	Sañay Aguirre, Ermel Joel		
REVISOR(ES)/TUTOR(ES)	MSc. Diana Bohórquez Heras/Ph.D. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo/ Mgs. Kety Peñafiel Olivo		
INSTITUCIÓN:	Universidad Católica de Santiago de Guayaquil.		
FACULTAD:	Sistema de Posgrado		
CARRERA:	Maestría en Electricidad		
TÍTULO OBTENIDO:	Magister en Electricidad Con Mención En Energías Renovables y Eficiencia Energética.		
FECHA DE PUBLICACIÓN:	28 de octubre del 2025	No. DE PÁGINAS:	84
ÁREAS TEMÁTICAS:	Fuente de energía renovable, energía calorífica		
PALABRAS CLAVES/ KEYWORDS:	Ósmosis inversa, energética térmica, energías fósiles, energías renovables, contaminación.		
El proyecto, alineado desde una propuesta de mejoramiento en la eficiencia energética térmica de una planta industrial ubicada en la ciudad de Guayaquil da una respuesta audaz a esa ineficiencia cotidiana a nivel industrial, al lograr incorporar la ósmosis inversa como una tecnología tradicionalmente acuática y considerarla como herramienta estratégica para recuperar parte de ese calor olvidado y transformarlo en valor energético tangible, convierte a este proceso de ósmosis inversa, como una solución que busca reducir la huella de carbono generada por la alta dependencia de fuentes de energía fósiles en las fábricas, la cual representa una amenaza para el ecosistema. La propuesta también tiene el fin de reducir significativamente las liberaciones de gases con efecto invernadero y además colaboraría en la energía de la Tierra. La utilización de este método sustentable y ecológico, como es la ósmosis inversa, podría ser utilizada como una metodología de investigación mixta, que combina métodos cuantitativos y cualitativos. Con esto se pretende ponerla en marcha en las fábricas e industrias de Guayaquil, y lograr incrementar notablemente la capacidad de energía térmica, posibilitando la disminución considerable de la petición de energía térmica y la disminución de las fuentes habituales de energía.			
ADJUNTO PDF:	☒ SI		☐ NO



**Presidencia
de la República
del Ecuador**



**Plan Nacional
de Ciencia, Tecnología,
Innovación y Saberes**



SENESCYT

Secretaría Nacional de Educación Superior,
Ciencia, Tecnología e Innovación

CONTACTO CON AUTOR/ES:	Teléfono: +59369850709	E-mail: ermeljoel@gmail.com
CONTACTO CON LA INSTITUCIÓN:	Nombre: Ing. Bohórquez Escobar, Celso Bayardo Ph.D.	
COORDINADOR DEL PROCESO DE UTE	Teléfono: +593- 995147293	
	E-mail: celso.bohorquez@cu.ucsg.edu.ec	
SECCIÓN PARA USO DE BIBLIOTECA		
Nº. DE REGISTRO (en base a datos):		
Nº. DE CLASIFICACIÓN:		
DIRECCIÓN URL (tesis en la web):		