



TecNM

SEP

SEST

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

**“ANÁLISIS INTEGRAL DE FACTIBILIDAD DE INVERSIÓN EN
PROCESOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA A PARTIR DE
UN EFLUENTE INDUSTRIAL”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL**

PRESENTA:

ANGEL DAVID CALVO AGUILAR

NO. CONTROL

1928M1238

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. CLAUDIA ROSARIO MURO URISTA

METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO 2021



TecNM

SEP

SEST

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

“ANÁLISIS INTEGRAL DE FACTIBILIDAD DE INVERSIÓN EN
PROCESOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA A PARTIR DE
UN EFLUENTE INDUSTRIAL”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRA EN CIENCIAS EN INGENIERÍA AMBIENTAL

PRESENTA:

ANGEL DAVID CALVO AGUILAR

NO. CONTROL

1928M1238


DIRECTORA DE TESIS:

DRA. CLAUDIA ROSARIO MURO URISTA

Bo. Vo.



Vo. Bo.



Vo.Bo.



METEPEC, ESTADO DE MÉXICO, JUNIO 2021

Instituto Tecnológico de Toluca
División de Estudios de Posgrado e Investigación

Metepec, Edo. de México., 27/enero/2022
DEPI-395-054/2022

C. Angel David Calvo Aguilar
CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO
EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA
PRESENTE

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica dependiente de la Subsecretaría de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó con respecto a su trabajo de Tesis titulado **"ANÁLISIS INTEGRAL DE FACTIBILIDAD DE INVERSIÓN EN PROCESOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA A PARTIR DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL"**, la División de Estudios de Posgrado e Investigación concede autorización para que proceda a la impresión del mismo.

Sin más por el momento, quedo de usted.

A T E N T A M E N T E

"Excelencia en educación tecnológica"
"Educación, integridad y ciencia"

JOSÉ LUIS GARCÍA RIVÁS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO
E INVESTIGACIÓN



ccp. Archivo
JLGR/IMAB




Metepec, Edo. de México, 24/enero/2022

DR. JOSÉ LUIS GARCÍA RIVAS
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACIÓN
PRESENTE

Por este medio comunicamos a usted que la comisión Revisora designada para analizar la tesis denominada **“ANÁLISIS INTEGRAL DE FACTIBILIDAD DE INVERSIÓN EN PROCESOS PARA LA RECUPERACIÓN DE AGUA A PARTIR DE UN EFLUENTE INDUSTRIAL”**, que como parte de los requisitos para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias de la Ingeniería Ambiental presenta el **C. Angel David Calvo Aguilar** con número de control **1928M1238** para sustentar el acto de Recepción Profesional, ha dictaminado que dicho trabajo reúne las características de contenido y calidad para proceder a la impresión del mismo.

ATENTAMENTE

 CLAUDIA ROSARIO MURO URISTA DIRECTOR DE TESIS	 MARÍA DEL CARMEN DÍAZ NAVA REVISOR DE TESIS
 DRA. YOLANDA ALVARADO PÉREZ. REVISOR DE TESIS	 DRA. VIANNEY DÍAZ BLANCAS. REVISOR DE TESIS

ccp. Archivo
JLGR/IMAB



DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mis padres, José Alfredo Calvo Gómez y María Zoraida Aguilar Moreno, por su educación, amor, paciencia, dedicación, apoyo, trabajo, ejemplo y guía en todo momento durante todos estos años, gracias a ellos he logrado llegar hasta aquí. Ha sido y seguirá siendo un orgullo y privilegio ser su hijo, son los mejores padres.

A mis hermanos Carlos Alfredo Calvo Aguilar y Selena Guadalupe Calvo Aguilar por su cariño y apoyo incondicional durante toda mi vida y en esta etapa por estar conmigo en todo momento. Porque de una u otra forma siempre me acompañan en todos mis sueños y metas con sus consejos, palabras, risas, platicas y peleas, hacen que mi vida sea más que genial. Simplemente feliz.

A mi novia Jocabeth Aguilar Aguilar quien me acompaño, apoyó y confió en mi desde el principio de la maestría. Porque a través de su tiempo, consejos, su amor, su cariño, respeto, alegría y paciencia me ayudo a concluir esta meta, meta que ya es de ambos. Te amo.

A todos los autores, pensadores e investigadores que comparten sus conocimientos y sabiduría a través de artículos, tesis, libros, etc. Como dijo Kurt Lewin (1890-1947) “Nada hay más practico como una buena teoría” y “El aprendizaje es más efectivo cuando se trata de un proceso activo en lugar de pasivo”.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por ser mi guía y acompañarme en el transcurso de mi vida, brindándome salud para culminar con éxito mis metas propuestas.

A mi directora de tesis, la Dra. Claudia Rosario Muro Urista, que formo parte importante, porque sin sus conocimientos, su paciencia, guía, dedicación y constancia no hubiese logrado la realización de este trabajo. Sus asesorías me impulsaron a realizar nuevos hábitos de lectura, investigación, redacción, comprensión y análisis que me hacen un mejor profesionista. En el ámbito profesional y del conocimiento ella me inspira, es mi modelo a seguir, gracias por acompañarme en esta etapa.

A mi compañera Karina Hernández Gómez quien fue parte fundamental para la realización de esta tesis, ya que los resultados de su tesis de Doctorado en Ciencias Ambientales fueron utilizados como referencia: “TRATAMIENTO Y RECUPERACIÓN DE UN EFLUENTE DE UNA INDUSTRIA DE PIGMENTOS DE USO ALIMENTARIO, MEDIANTE PROCESOS DE INTERCAMBIO IÓNICO Y MEMBRANA”.

Al instituto tecnológico de Toluca, porque a través de todas sus áreas me brindo todo el apoyo necesario para la realización de esta tesis, así como mi preparación profesional, gracias por hacerme parte de su institución.

Agradezco a los docentes que con su conocimiento, enseñanza y colaboración contribuyeron en el desarrollo de este trabajo, así como en mi formación profesional. Fue un privilegio haber contado con los mejores profesores.

Al CONACyT, por haberme otorgado la beca mensual del Programa Nacional de Posgrados de Calidad, ya que con su apoyo económico me dio la oportunidad de culminar satisfactoriamente.

RESUMEN

En la presente investigación se realizó un análisis integral de factibilidad de inversión de un proyecto de recuperación de agua con fines de reúso, a partir del tratamiento de un efluente industrial de una empresa del Estado de México que produce aditivos alimenticios.

Como antecedente, se conoce que la empresa, genera 10,000 L/día de efluente de proceso, destacando como características principales, alta salinidad, coloración, DQO, sólidos sedimentables y sólidos disueltos.

Actualmente el efluente es dispuesto para su tratamiento en una planta independiente de la empresa, generando costos de millones de pesos anuales por disposición y tratamiento. A su vez, la empresa consume alrededor de 16,000 L/día de agua potable, referida a los procesos productivos, mantenimiento, higiene de personal, así como la destinada a riego y otros; lo cual arroja un gasto de \$70,000.00 por consumo anual de este recurso.

Derivado del gasto anual que la empresa tiene por pago de agua potable y el tratamiento de sus efluentes industriales, así como la escasez de agua potable, y el compromiso ambiental, se forzó a la búsqueda de mejoras en los procesos que ayudaran a aminorar el gasto mencionado, considerando la recuperación de agua a través de un tratamiento de sus efluentes de proceso.

Bajo esa encomienda, se establecieron dos propuestas de tratamiento que cumplen con la recuperación de agua: 1) Un proceso basado en resinas de intercambio iónico y 2) un proceso híbrido de membrana, conformado por resinas y osmosis inversa.

Las primeras etapas de tratamiento son comunes para ambas alternativas, las cuales comprenden a) filtración convencional para reducir los sólidos suspendidos en el efluente; b) intercambio aniónico para reducir la coloración.

La tercera y cuarta etapa marcan la diferencia, entre una alternativa y otra. En la alternativa 1, se refieren a una etapa de intercambio mixto (catiónico y aniónico)

para reducir las sales del efluente, y lavado de los materiales para su recobro. En la alternativa 2, se contempla una unidad de osmosis inversa y el lavado de materiales y membrana.

Con base en la anterior información, se procedió a realizar el estudio de factibilidad de inversión de ambas alternativas, considerando el análisis técnico, ambiental y económico para cada propuesta.

En el estudio técnico, se estableció la tecnología y dimensión requerida para implementar los tratamientos a escala industrial, su localización, la organización humana requerida para la operatividad de los procesos, incluyendo la normatividad a la que deben apegarse los tratamientos y el agua recuperada.

A través del escalamiento de las unidades de tratamiento, se obtuvo que el equipo necesario para implementar la alternativa 1 o 2, comprende 3 bombas centrifugas, 2 tanques de almacenamiento de 20 m³, y 3 unidades de separación con capacidad de 150 litros cada una.

Bajo el equipo establecido el área requerida para la ubicación de la tecnología para la alternativa 1 y 2, resultó de 174 m² y 196 m², respectivamente.

En ambos casos, la industria cuenta con ese espacio para la implementación del proceso; por tanto, su ubicación factible ya que la empresa dispone de esa área para su instalación. El espacio se encuentra ubicado próximo a donde se almacena el efluente residual, y no es necesario construir o modificar sus instalaciones para la implementación de cualquiera de los dos tratamientos.

Para la operatividad y la supervisión de cada proceso de tratamiento se requiere el empleo de 6 trabajadores. Por lo cual es necesario el contrato o ajuste de 6 trabajadores que deberán operar y supervisar esta nueva sección de la planta industrial.

El estudio técnico también arrojó, la factibilidad del proceso de tratamiento por apego a la normatividad mexicana, relativa a generación de residuos y la calidad del agua recuperada. En este caso, se identificó que la recuperación de agua es del

90 % con ambas alternativas, y las características de calidad corresponden agua potable en apego a lo indicado en la NOM-127.

Además, también se cumplen la NOM-004-SEMARNAT-2002 que rige las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos generados; así como la NOM-161-SEMARNAT-2011 que establece los criterios para clasificar a los Residuos de Manejo Especial, y su Plan de Manejo. En apego a ambas normas, se indica que es posible el reúso de los residuos generados en el sector de la construcción, los cuales pueden ser utilizados como sustituyentes de otros materiales, obteniéndose beneficios en el manejo y gestión adecuada de los residuos.

En lo que respecta al estudio de factibilidad ambiental, el análisis se basó en la determinación de un índice de efecto ambiental que se pudiera generar por la aplicación de los procesos de tratamiento. La evaluación se realizó utilizando un índice de ponderación cuantitativa (R) de 1 a 3 que se asigna de acuerdo con la afectación ambiental; los valores asignados fueron, bajo (1), medio (2) y alto (3).

Los aspectos que se evaluaron para integrar el índice de afectación ambiental fueron los residuos generados por el proceso de tratamiento, áreas de afectación, grado de peligrosidad, toxicidad de los residuos, frecuencia de generación, magnitud, límites de referencia, y sensibilidad del medio por la generación de residuos o emisiones.

Del estudio ambiental se obtuvo que los procesos utilizados para la recuperación de agua mediante las alternativas 1 y 2 causan baja afectación, obteniendo un valor del índice $R = 1.3$ y 1.14 respectivamente.

En ambos casos, el índice arrojó que los dos sistemas de tratamiento propuestos no son dañinos al ambiente; la diferencia en el valor de R se basa en la cantidad de residuos sólidos que se generan en la alternativa 1 y que son necesarios disponer. Además, la ventaja positiva en el efecto ambiental para ambos tratamientos es la posibilidad de la recuperación de agua a partir de un efluente cumpliendo con del ciclo del agua.

En el estudio económico-financiero, se analizaron los costos, e inversiones necesarias para la realización del proyecto de recuperación de agua, así como los tiempos de retorno de inversión y los márgenes de utilidad de cada alternativa.

La inversión inicial para la alternativa 1 resultó de \$722,863.47, lo cual incluye los equipos, tecnología y suministros, y otros gastos. En este caso, se proyecta la recuperación de la inversión inicial en 61 días con un margen de utilidad anual de \$3,629,616.57. Para el caso del tratamiento con la alternativa 2 se requiere una inversión de similar de \$802,498.00, con un periodo de recuperación de 67 días y un margen de utilidad anual de \$3,549,982.04.

La utilidad es referida al ahorro por pago de suministro de agua potable, y por el ahorro del pago de multas, traslado y tratamiento el efluente industrial a un organismo externo.

De acuerdo con los resultados obtenidos, la factibilidad de inversión de las propuestas de tratamiento, según las alternativas 1 y 2, establece que ambos proyectos son viables y rentables, y la decisión de su implementación podría argumentarse de acuerdo con el efecto ambiental, en el que la alternativa 1 presenta un ligero incremento en el índice de afectación por la mayor cantidad de residuos sólidos generados, referidos a los materiales utilizados en los procesos.

ABSTRAC

In this research, a comprehensive investment feasibility analysis was carried out for a water recovery project for reuse purposes, based on the treatment of an industrial effluent from a company in the State of Mexico that produces food additives.

As a background, it is known that the company generates 10,000 L / day of process effluent, highlighting as main characteristics, high salinity, coloration, COD, sedimentable solids and dissolved solids.

Currently, the effluent is disposed of for treatment in an independent plant of the company, generating costs of millions of pesos per year for disposal and treatment. In turn, the company consumes around 16,000 L / day of drinking water, referring to production processes, maintenance, personal hygiene, as well as that for irrigation and others, which yields an expense of \$ 70,000.00 for annual consumption of this resource.

Derived from the annual expense that the company has to pay for drinking water and the treatment of its industrial effluents, as well as the shortage of drinking water, and the environmental commitment, it was forced to seek improvements in the processes that would help reduce spending mentioned, considering the recovery of water through a treatment of its process effluents.

Under this mandate, two treatment proposals were established that comply with the recovery of water: 1) A process based on ion exchange resins and 2) a hybrid membrane process, made up of resins and reverse osmosis.

The first treatment stages are common for both alternatives, which comprise a) conventional filtration to reduce suspended solids in the effluent; b) anion exchange to reduce coloration.

The third and fourth stages make the difference, between one alternative and another. In alternative 1, they refer to a mixed exchange stage (cationic and anionic) to reduce the salts of the effluent and washing the materials for their recovery. In alternative 2, a reverse osmosis unit and the washing of materials and membrane are contemplated.

Based on the above information, the investment feasibility study of both alternatives was carried out, considering the technical, environmental, and economic analysis for each proposal.

In the technical study, the technology and dimension required to implement the treatments on an industrial scale, their location, the human organization required for the operation of the processes, including the regulations to which the treatments and the recovered water must adhere, were established.

Through the scaling of the treatment units, it was obtained that the necessary equipment to implement alternative 1 or 2, comprises 3 centrifugal pumps, 2 storage tanks of 20 m³, and 3 separation units with a capacity of 150 liters each.

Under the established team, the area required for the location of the technology for alternative 1 and 2 was 174 m² and 196 m², respectively.

In both cases, the industry has that space to implement the process; therefore, its feasible location since the company has that area for its installation. The space is located close to where the residual effluent is stored, and it is not necessary to build or modify its facilities to implement either of the two treatments.

For the operation and supervision of each treatment process, the employment of 6 workers is required. Therefore, the contract or adjustment of 6 workers who must operate and supervise this new section of the industrial plant is necessary.

The technical study also showed the feasibility of the treatment process due to adherence to Mexican regulations, relative to waste generation and the quality of the recovered water. In this case, it was identified that the water recovery is 90% with

both alternatives, and the quality characteristics correspond to drinking water in accordance with the provisions of NOM-127.

In addition, NOM-004-SEMARNAT-2002, which governs the specifications and maximum permissible limits of contaminants in the sludge and biosolids generated, are also complied with; as well as NOM-161-SEMARNAT-2011 that establishes the criteria for classifying Special Management Waste, and its Management Plan. In adherence to both standards, it is indicated that it is possible to reuse waste generated in the construction sector, which can be used as substitutes for other materials, obtaining benefits in the proper handling and management of waste.

Regarding the environmental feasibility study, the analysis was based on the determination of an index of environmental effect that could be generated by the application of the treatment processes. The evaluation was carried out using a quantitative weighting index (R) from 1 to 3 that is assigned according to the environmental impact; the assigned values were low (1), medium (2) and high (3).

The aspects that were evaluated to integrate the index of environmental impact were the waste generated by the treatment process, affected areas, degree of danger, toxicity of the waste, frequency of generation, magnitude, reference limits, and sensitivity of the environment by the generation of waste or emissions.

From the environmental study it was obtained that the processes used for the recovery of water through alternatives 1 and 2 cause low affectation, obtaining a value of the index $R = 1.3$ and 1.14 respectively.

In both cases, the index showed that the two proposed treatment systems are not harmful to the environment; the difference in the value of R is based on the amount of solid waste that is generated in alternative 1 and that needs to be disposed of.

In addition, the positive advantage in the environmental effect for both treatments is the possibility of recovering water from an effluent complying with the water cycle.

Regarding the economic-financial study, the costs and investments necessary to carry out the water recovery project were analyzed, as well as the investment return times and profit margins of each alternative.

The initial investment for alternative 1 was \$ 722,863.47, which includes equipment, technology and supplies, and other expenses. In this case, the recovery of the initial investment is projected in 61 days with an annual profit margin of \$ 3,629,616.57. In the case of treatment with alternative 2, a similar investment of \$ 802,498.00 is required, with a recovery period of 67 days and an annual profit margin of \$ 3,549,982.04.

The profit is referred to the savings for payment of drinking water supply, and for the savings from the payment of fines, transfer, and treatment of industrial effluent to an external body.

According to the results obtained, the investment feasibility of the treatment proposals, according to alternatives 1 and 2, establishes that both projects are viable and profitable, and the decision to implement them could be argued according to the environmental effect, in which Alternative 1 presents a slight increase in the index of affectation due to the greater amount of solid waste generated, referred to the materials used in the processes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

1 FUNDAMENTOS	3
1.1 Características de los efluentes residuales industriales	6
1.1.1 Efluentes residuales de las industrias de pigmentos	7
1.2 Procesos de tratamiento de efluentes residuales industriales con pigmentos.....	10
1.2.1 Procesos de intercambio iónico utilizando resinas	11
1.2.2 Procesos de membrana	13
1.3 Análisis integral de factibilidad de un proyecto de inversión en procesos de tratamiento de agua.....	16
1.3.1 Estudio de factibilidad técnica	17
1.3.3 Estudio de factibilidad ambiental	23
1.3.4 Estudio de Factibilidad Económica- Financiera.....	32
2 MÉTODO.....	36
2.1 Descripción del proyecto de inversión	37
2.1.1 Características del efluente residual industrial	37
2.1.2 Alternativas propuestas de tratamiento del efluente industrial	39
2.2 Estudio técnico del proyecto de inversión	42
2.3 Estudio del efecto ambiental del proyecto de inversión	44
2.4 Estudio económico-financiero del proyecto de inversión	44
3 RESULTADOS.....	46
3.1 Estudio técnico del proyecto de inversión para la recuperación de agua mediante la alternativa 1	46
3.1.1 Características de la tecnología e insumos requeridos a nivel industrial	46
3.1.2 Localización del área y ubicación de la tecnología	49
3.1.3 Organización del personal requerido para el proceso	53
3.1.4 Normatividad en el proceso de recuperación de agua	54

3.2 Estudio ambiental del proyecto de inversión para la recuperación de agua mediante la alternativa 1	56
3.2.1 Identificación de las áreas de afectación y efecto de las actividades....	56
3.3 Estudio económico-financiero del proyecto de inversión de recuperación de agua a partir del tratamiento de un efluente industrial mediante la alternativa 1	59
3.3.1 Valor presente neto del proyecto	65
3.3.2 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	65
3.4 Análisis de factibilidad de inversión. Proyecto de recuperación de agua. Alternativa 2.	67
3.4.1 Estudio técnico del proyecto de inversión	67
3.2 Estudio ambiental del proyecto de inversión.....	75
3.2.1.	75
3.3 Estudio económico-financiero del proyecto de inversión	78
3.4.1 Valor presente neto del proyecto	81
3.3.2 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)	81
3.5 Estudio comparativo entre las dos alternativas de tratamiento de un efluente industrial para la recuperación de agua	81
CONCLUSIONES PARCIALES.....	86
REFERENCIAS.....	87
ANEXOS	91

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Reactores aerobios con efluentes que conservan el color después de ser tratados en un proceso anaerobio.....	8
Figura 1.2 Imágenes de la forma de las resinas, su aplicación en cartuchos y equipos de tratamiento de aguas que utilizan resinas.....	12
Figura 1.3 Imágenes de procesos de membrana regidos por presión y la forma de operar de una membrana.	14
Figura 1.4 Estructura del análisis del producto.....	18
Figura 1.5. Partes que conforman un estudio técnico (Urbina, 2001).	20
Figura 1.6. Aspectos que deben considerarse en el estudio de factibilidad técnica de un proceso de producción (BACA, 2001).	21
Figura 1.7 Estructura del análisis económico.	33
Figura 2.1 Diagrama de las etapas de la metodología de investigación	36
Figura 2.2 Diagrama de las etapas del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 1.....	40
Figura 2.3 Diagrama de las etapas del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.....	40
Figura 3.1 Mapa de macrolocalización del área del proyecto de recuperación de agua.	50
Figura 3.2 Micro localización del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 1.....	51
Figura 3.3 Vista frontal de las columnas de filtración y de resinas de intercambio iónico que conforman la planta propuesta para recuperación de agua mediante la alternativa 1.....	52
Figura 3.4 Vista posterior de la planta de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico	52
Figura 3.5 Vista desde arriba de la distribución de planta del proceso propuesto de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico.....	53
Figura 3.6 Diagrama de puestos para el proceso de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico.	54

Figura 3.7 Diagrama de las etapas del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.....	72
Figura 3.8 Micro localización del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.....	73
Figura 3.9 Vista frontal de la columna de filtración, resinas de intercambio iónico y membrana de osmosis inversa, que conforman la planta propuesta para recuperación de agua mediante la alternativa 2.....	74
Figura 3.10 Vista posterior de la planta de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y osmosis inversa.....	74
Figura 3.11 Vista desde arriba de la distribución de planta del proceso propuesto de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y Ol.	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Algunas industrias que generan efluentes con color (Anjaneyulu et al., 2005).....	8
Tabla 1.2 Tipos de afectaciones ambientales que causa un proyecto con base en la interrelación entre acciones y/o efectos.	26
Tabla 1.3 Tipos de afectaciones ambientales que causa un proyecto de acuerdo con la periodicidad de ejecución de las actividades implícitas.....	26
Tabla 1.4 Elementos que intervienen en el método lhobe para la evaluación del efecto ambiental.....	27
Tabla 1.5 Criterios de magnitud de un efecto ambiental	27
Tabla 1.6 Niveles de significancia de la magnitud de un efecto ambiental.....	27
Tabla 1.7 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de peligrosidad y toxicidad en condiciones normales.....	28
Tabla 1.8 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de límites de referencia en condiciones normales.....	28
Tabla 1.9 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de sensibilidad al medio en condiciones normales.....	28

Tabla 1.10 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de regulación en condiciones normales.	29
Tabla 1.11 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de probabilidad/frecuencia en condiciones de emergencia.	29
Tabla 1.12 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de extensión en condiciones de emergencia.	29
Tabla 1.13 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de peligrosidad en condiciones de emergencia.....	30
Tabla 1.14 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales de acuerdo con el criterio de sensibilidad al medio en situaciones de emergencia.	30
Tabla 1.15 determinación del efecto ambiental de acuerdo con índice R.	31
Tabla 2.1 Aspectos del efluente industrial para considerar en el proyecto de recuperación de agua.....	38
Tabla 2.2 Características de calidad del agua tratada que se obtiene a partir del efluente industrial mediante la aplicación de las alternativas 1 y 2.	41
Tabla 2.3 Propuesta del proceso a nivel laboratorio para recuperación de agua a partir del tratamiento del efluente industrial utilizando las alternativas 1 y 2.	43
Tabla 3.1 Propuesta del proceso para recuperación de agua mediante la alternativa 1 (resinas de intercambio iónico) a nivel industrial.....	47
Tabla 3.2 Características fisicoquímicas de los insumos y los volúmenes requeridos para el proceso de tratamiento del efluente a nivel industrial mediante alternativa 1	48
Tabla 3.3 Descripción de las unidades requeridas para el proceso de recuperación de agua a nivel industrial.....	49
Tabla 3.4 Normatividad requerida en el proceso de recuperación de agua mediante la alternativa 1.	55
Tabla 3.5 Matriz de identificación de áreas de incidencia y actividades que causan un efecto derivadas del proceso de tratamiento para recuperación de agua correspondiente a la alternativa 1.	57

Tabla 3.6 Matriz concentrada para la evaluación del efecto ambiental la adecuada para el proyecto de recuperación de agua a partir de un efluente de la industria alimenticia correspondiente a la alternativa 1.....	58
Tabla 3.7 Inversión fija y costos de la tecnología e instrumentos requeridos para la recuperación de agua mediante el tratamiento del efluente industrial con la alternativa 1.....	59
Tabla 3.8 Inversión diferida y capital de trabajo para el proyecto tratamiento de un efluente	60
Tabla 3.9 Inversión total del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 1.	61
Tabla 3.10 Costo actual y proyectado por consumo de agua potable y por disposición y tratamiento del efluente industrial, sin considerar la propuesta de tratamiento.	62
Tabla 3.11 Punto de equilibrio financiero del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 1.	63
Tabla 3.12 Gastos que incurren y lo que el proceso trata a diario para alcanzar el punto de equilibrio	64
Tabla 3.13 Concentrado del estudio económico-financiero.....	66
Tabla 3.14 Características del equipo, instrumentación e insumos requeridos mediante la alternativa 2 (resinas de intercambio iónico y osmosis inversa).	69
Tabla 3.15 Requerimiento del proceso para recuperación de agua con la alternativa 2 (intercambio iónico con resina aniónicas y OI).....	70
Tabla 3.16 Características fisicoquímicas, volúmenes y costos de los insumos requeridos para el proceso de tratamiento mediante alternativa 2.....	71
Tabla 3.17 Matriz de identificación de áreas de incidencia y actividades que causan un efecto derivadas del proceso de tratamiento correspondiente a la alternativa 2.	76
Tabla 3.18 Matriz concentrada para la evaluación del efecto ambiental correspondiente a la alternativa 2.	77
Tabla 3.19 Inversión fija, equipos y costos requeridos para el proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.....	78

Tabla 3.20 Inversión diferida y capital de trabajo para el proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 2.	79
Tabla 3.21 Inversión total del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 2.	79
Tabla 3.22 Gastos que incurren y lo que el proceso trata a diario para alcanzar el punto de equilibrio	80
Tabla 3.23 Factibilidad de inversión entre la alternativa 1 y 2 para la recuperación de agua	84

INTRODUCCIÓN

México es hoy en día, uno de los países que padece escasez de recursos hídricos, debido al crecimiento poblacional, uso desmedido de agua, y al problema de generación de efluentes residuales con baja eficiencia en su tratamiento que pocas veces garantizan el retorno del agua al planeta.

Una de las alternativas para solucionar este problema en el sector industrial, es la recuperación de agua a partir del tratamiento de efluentes de proceso, lo cual tiene un impacto ambiental con altas ganancias sociales, económicas y ambientales. Sin embargo, para implementar y operar cualquier proyecto de inversión, es necesario llevar a cabo un estudio de factibilidad integral. En el caso, de la recuperación de agua, el fin es determinar la viabilidad del proceso de tratamiento y el reúso del agua a partir de su depuración.

La presente investigación tuvo como objetivo realizar un estudio de factibilidad de inversión en el tratamiento de efluentes proceso para una industria localizada en el Estado de México que produce aditivos alimenticios. En la factibilidad de inversión se analizaron dos alternativas de tratamiento, A) Intercambio iónico utilizando resinas. B) Intercambio iónico con osmosis inversa.

A partir de estudios previos a escala laboratorio, las dos alternativas de tratamiento proyectan la posibilidad de recuperación de agua.

Bajo los anteriores argumentos, la hipótesis que se planteó fue basada en que el estudio de factibilidad de inversión arrojará información que ayude a tomar decisiones para la implementación a nivel industrial de alguna de las dos alternativas, en base al análisis técnico, ambiental y económico.

La metodología del estudio de factibilidad de inversión de los procesos de tratamientos mencionados incluyó un análisis técnico evaluando las condiciones y parámetros que se requieren para establecer el proyecto, tales como, la tecnología, la localización y los recursos materiales.

La sostenibilidad de los procesos propuestos fue estudiada mediante la factibilidad ambiental. Mientras que, a través de un estudio económico financiero, se determinó la viabilidad económica de los procesos propuestos acuerdo a los costos de la implementación del proyecto y sus componentes, según la vida útil.

La investigación planteada, se resume en el trabajo que aquí se presenta en 3 secciones, Fundamentos, Metodología y Resultados, lo cual contribuye al área de conocimiento y aplicación de tratamiento y recuperación de efluentes residuales industriales.

1 FUNDAMENTOS

Para llevar a cabo cualquier proyecto de inversión es necesario realizar un estudio de factibilidad integral. La implementación de un proceso de tratamiento de efluentes industriales para su recuperación no es la excepción, también lo requiere, ya que se debe asegurar que se cumplirá el propósito planteado.

Para las industrias la recuperación de agua a partir del tratamiento de efluentes industriales significa la posibilidad de reúso del agua en diferentes ámbitos, los cuales pueden incluir, agua para proceso, suministro, mantenimiento, riego y lavado de equipos, entre otros.

La escasez de agua ha obligado a buscar alternativas para el recobro de este vital líquido y minimizar su uso en las diversas actividades del proceso productivo. Sin embargo, para implementar y operar cualquier proyecto de tratamiento de efluentes industriales, es necesario llevar a cabo un estudio de factibilidad integral a fin de determinar la viabilidad del objetivo de la recuperación y reúso del efluente a partir de su tratamiento.

El análisis de factibilidad integral comprende estudio técnico, ambiental y económico-financiero, los cuales deben analizarse de acuerdo con el proyecto de interés, a fin de obtener elementos que ayuden a tomar decisiones para su implementación y seguimiento.

En el caso de proyectos de recuperación de efluentes industriales a partir de su tratamiento, es necesario analizar el volumen del efluente residual generado, el volumen de agua que se desea recuperar y la calidad de agua que requiere la empresa para su reúso. En el estudio técnico, se requiere un análisis de los equipos y técnicas necesarios para la implementación del proceso de tratamiento y recuperación del efluente industrial; considerando el espacio requerido para la implementación del tratamiento, tamaño y tipo de tecnología de acuerdo con la máxima capacidad de producción, mano de obra y de especialidad e insumos, entre otros. Mientras que, en el estudio ambiental, se debe evaluar el efecto que el

proceso de tratamiento de agua y su recuperación tienen en el ambiente. Finalmente, en el estudio económico-financiero, se establece el costo de la implementación y la operación de proceso de tratamiento y recuperación del agua. En conjunto, el análisis de las 4 etapas, pueden proporcionar información de gran utilidad para la toma de decisiones en la implementación de un proceso de tratamiento de agua, ya que la productividad y la responsabilidad ambiental en la industria pueden depender de estas decisiones (Kelety, 2000).

A la fecha existen pocas publicaciones sobre estudios de factibilidad relacionados con procesos de tratamiento y recuperación de agua, debido a que existe poca información relacionada con el sector industrial.

Entre algunas de las publicaciones sobre este tema se encuentra la de Ayala et al. (2009). En este trabajo se realizó un análisis de costos para determinar la factibilidad económica de la aplicación de un proceso de membranas en el tratamiento de un efluente residual industrial con altas cargas del colorante amarillo ácido 23. El resultando encontrando con dicho estudio, fue una factibilidad alta de recuperación de agua y del colorante, mostrando ahorros en la empresa del 50% por reúso de ambos.

Awad y Gar (2018) realizaron un estudio de factibilidad para mejorar el estado y funcionamientos de las plantas convencionales actuales para el tratamiento de efluentes residuales municipales (PTAR), integrando tratamientos terciarios, o la modificación de la PTAR, a fin de obtener agua de mayor calidad para reúso. En el estudio de factibilidad se incluyó un análisis de ciclo de vida. El estudio se realizó en una PTAR ubicada en Gamasa, Egipto. El primer escenario fue un estudio de la planta en su estado actual. El segundo escenario fue la adición del proceso de digestión anaerobia mediante el uso de lodos. El tercer escenario fue la adición de una etapa de tratamiento terciario. El cuarto escenario fue la adición conjunta de la digestión anaeróbica de lodos y la etapa de tratamiento terciario.

Como resultado se obtuvo que el cuarto escenario alcanzó los máximos beneficios ambientales para todas las categorías debido al ahorro de energía y la posibilidad

de reutilización del agua. Según la evaluación económica, la adición de tratamiento terciario conduce a obtener ganancias financieras debido al valor del agua producida que es reutilizable. Este estudio subraya la importancia de conservar las PTAR en los países en desarrollo.

Hernández et al. (2019) realizaron un análisis de factibilidad de permanencia de algunas instalaciones en plantas de tratamiento convencionales, para lo cual se realizó el análisis de envejecimiento del proceso existente.

La conexión entre los costos de reparaciones se analizó de acuerdo con el mantenimiento correctivo y otras variables representativas del proceso de tratamiento del efluente residual (años de la instalación de la planta, remodelación, flujo del efluente residual tratado ($m^3/año$), sólidos suspendidos (SS) eliminados ($kg/año$), DQO eliminada ($kg/año$), entre otros).

El resultado del análisis indicó que el deterioro de las instalaciones de las plantas tratadoras de agua representa un desembolso económico de un 13% más al año anterior y sin regreso de la inversión es difícil mantener las plantas.

Dalia et al. (2019) realizaron un estudio para evaluar el desempeño ambiental y económico (eficiencia) de dos sistemas de tratamiento de efluentes residuales a pequeña escala utilizando dos sistemas de humedales. El estudio fue basado en el ciclo de vida. El Sistema 1 fue referido a un humedal de flujo vertical y horizontal, sin aireación. El Sistema 2 consistió en un humedal de flujo vertical subsuperficial con aireación artificial. Los resultados demostraron que el humedal con aireación fue más rentable.

Otro estudio de factibilidad de inversión que también tiene efecto ambiental es el referido a la implementación de un ciclo de Rankine para reducir la cantidad de calor disipado y aumentar la producción de biogás que se obtiene en una PTAR localizada en la ciudad de Viareggio (Italia). La inversión se simuló en AMESim considerando un período de un año con condiciones ambientales reales. Los resultados de la investigación mostraron que se podía lograr una recuperación de energía térmica

de hasta el 77% con un período de recuperación inferior a 6 años. La energía eléctrica se utiliza actualmente para satisfacer las necesidades internas de la planta; sin embargo, el excedente se podría vender contando con utilidades para el mantenimiento de la planta (Baccioli et al., 2019).

Calderón et al. (2012) desarrollaron un material para separar las aminas que se obtienen durante la producción de metanol utilizando resinas catiónicas, ya que confieren al producto un olor característico a pescado y significaba pérdidas en ventas. El estudio de factibilidad de inversión en este proyecto indicó la evasión de pérdidas del orden de 800 ton/mes.

Toro-Álvarez et al. (2013) evaluaron la factibilidad de inversión en una planta de desaladora de agua de mar para su uso en la Central Termoeléctrica Este Habana. El estudio incluyó un comparativo de métodos de desalación para identificar el que fuera más adecuado, encontrando que la osmosis inversa fue la más apropiada desde el punto de vista técnico. El estudio de factibilidad económica indicó que la osmosis inversa genera una ganancia neta de 3096974cuc/a para una tasa de interés de 10 %, y un valor de TIR de 27 %, muy superior a otras técnicas analizadas.

1.1 Características de los efluentes residuales industriales

Los efluentes residuales industriales son llamados efluentes porque éstos se generan durante el proceso productivo y generalmente no se mezclan con las aguas generadas por uso público.

Los efluentes industriales pueden presentar una amplia variedad de características físicas y químicas, las cuales dependen en gran medida del proceso industrial que las produce. De acuerdo con su composición, los efluentes industriales se pueden clasificar en efluentes con materia orgánica biodegradable, efluentes con materia

orgánica no biodegradable, efluentes con aceites y grasas, efluentes con metales pesados, efluentes salinos, efluentes con colorantes, efluentes de naturaleza compleja, y efluentes con contaminantes tóxicos, entre otros (Condorchem, 2001).

La concentración de los contaminantes depende del proceso productivo de cada industria. Por tanto, el proceso de tratamiento está en función de la complejidad de los efluentes residuales y del costo de su implementación.

1.1.1 Efluentes residuales de las industrias de pigmentos

La presencia de colorantes en los efluentes industriales representa un problema ambiental; más de diez mil diferentes tipos de pigmentos y colorantes sintéticos son sintetizados y usados en diferentes industrias como la de alimentos, textil, papelera, cosmética y farmacéutica, entre otras, por lo cual se generan grandes cantidades de efluentes contaminados con esas características.

Pese a que muchos de esos efluentes son tratados en plantas convencionales, éstas son inefectivas para tratar el color, por lo que su ingreso a cuerpos de agua ha sido inevitable y la contaminación por color es cada vez más evidente en el ambiente, dado que la estructura de los pigmentos sintéticos, generalmente no se degrada, o bien en el proceso de degradación se pueden generar otros productos tóxicos (Quispe, 2004)

En la figura 1.1 se muestra una imagen de reactores aerobios de una planta tratadora, donde se observa que aún después de pasar por un tratamiento anaerobio el efluente pigmentado posee una coloración azul.

Las principales industrias que contaminan con pigmentos y colorantes se muestran en la Tabla 1.1.

La principal fuente emisora de colorantes es la industria textil (Días et al., 2007). Sin embargo, no se quedan atrás la de alimentos, cosmética y farmacéutica. En cualquiera de las industrias mencionadas, los colorantes sintéticos son los principales causantes de la coloración, toxicidad y permanencia de la contaminación en agua.



Figura 1.1 Reactores aerobios con efluentes que conservan el color después de ser tratados en un proceso anaerobio.

Tabla 1.1 Algunas industrias que generan efluentes con color (Anjaneyulu et al., 2005).

Industria	Cantidad de agua generada (m ³ /ton)	Unidades de color
Azucarera	0.4 m ³ /Ton caña triturada	150-200
Cervecería	0.25 m ³ /Ton cerveza producida	200-300
Destilería	12 m ³ /Ton de alcohol producido	200-300
Curtido	28 m ³ /Ton de piel	400-500
Pulpa y papel	175 m ³ /Ton de papel	100-600
Textil	120 m ³ /Ton de fibra	1100-1300

Los colorantes están formados por un grupo de átomos responsables del color (cromóforos).

Los grupos cromóforos más comunes en colorantes sintéticos son los azo (-N=N-), carbonilo (C=O), metilo (-CH₃), nitro y grupos quinoídes. Los colorantes también pueden contener otros grupos que incrementan la intensidad del color y que pueden ser de tipo reactivo, ácidos, directos, básicos, dispersos, aniónicos, sulfuros, entre otros (Christie 2001, Días et al., 2007).

Debido a su toxicidad, se ha demostrado que ciertos colorantes azo pueden ser carcinogénicos y mutagénicos, además de que sus productos de degradación pueden resultar más tóxicos.

Específicamente, los colorantes de origen alimenticio tales como E-110, E-104, E-122, E-129, E-102, E-124, son del tipo azo y su síntesis y aplicación también producen efluentes residuales complejos, ya que unidos a residuos orgánicos causan efectos adversos al ambiente.

Los efluentes con color generalmente vienen acompañados de sustancias orgánicas, inorgánicas en solución y sales. Por tanto, un parámetro importante para medir su contaminación es la demanda biológica de oxígeno (DBO). Éste es un indicador de la cantidad de sustancias que son biodegradables, entre las que se encuentran las de origen biológico (proteínas, carbohidratos, grasas y aceites), y de productos químicos orgánicos sintéticos.

Otro parámetro, utilizado para determinar la contaminación del efluente industrial es la demanda química de oxígeno (DQO); es un indicador de las sustancias biodegradables y no biodegradables cuya presencia de elementos inorgánicos puede definirse por cloruros, iones de hidrógeno (que influyen el pH), compuestos alcalinos, nitrogenados, fosforados y azufre. Todos estos elementos son contaminantes de las aguas, y por ende deben de ser removidos para el cumplimiento de las normas ambientales vigentes para descargas de efluentes residuales (Domosagua, 2019). Por tanto, la eliminación de los colorantes y de la

contaminación en los efluentes de las industrias que utilizan pigmentos o que producen pigmentos, representa un gran reto ambiental.

Por otro lado, ya que las industrias consumen grandes volúmenes de agua en sus procesos, también generan grandes volúmenes de efluente residual pigmentado, por lo que es importante la búsqueda de tecnologías que permitan el reciclaje del efluente residual, o bien, que permitan que el agua pueda ser vertida sin que perjudique al ambiente (Cortázar et al., 2012).

1.2 Procesos de tratamiento de efluentes residuales industriales con pigmentos

Existen en la actualidad diversas tecnologías para realizar el tratamiento de efluentes industriales que contienen pigmentos.

Los sistemas de tratamiento se clasifican en procesos físicos, químicos y biológicos (De la hoz, 2007).

En los procesos de tratamiento biológico pueden ser utilizados lodos activados y diferentes microorganismos en un reactor biológico secuencial (SBR), reactor biológico de membranas (MBR), reactor biológico de lecho móvil (MBBR).

Dentro de los procesos físicos y químicos, se encuentran la flotación, decantación, precipitación, coagulación-floculación, neutralización, adsorción, filtración, electrocoagulación, oxidación avanzada, membranas e intercambio iónico.

1.2.1 Procesos de intercambio iónico utilizando resinas

Las resinas de intercambio iónico son materiales sintéticos que se utilizan normalmente en forma de esferas de 0,5-1 mm de diámetro. Generalmente se utilizan para eliminar la dureza del agua intercambiando los iones del agua como magnesio y calcio.

Las resinas están formadas por una matriz polimérica a la que se le han unido una gran cantidad de radicales polares, ácidos o bases. Cuando el efluente a tratar pasa a través de la resina, ésta intercambia sus iones con los del agua (sodio, cloruro, calcio, magnesio, etc.) y cede una cantidad equivalente en cuanto a carga de protones o de hidroxilos, según sea el caso, modificando el pH del agua por dicho intercambio.

Las resinas de intercambio iónico pueden ser de los siguientes tipos:

- 1 Resinas catiónicas de ácido fuerte, eliminan los cationes del agua debido a que intercambian sodio, potasio generalmente.
- 2 Resinas catiónicas de ácido débil, eliminan los cationes asociados con bicarbonatos.
- 3 Resinas aniónicas de base fuerte, eliminan todos los aniones. Se utilizan para eliminar carbonatos y silicatos.
- 4 Resinas aniónicas de base débil, eliminan con gran eficiencia los aniones de ácidos fuertes (sulfatos, nitratos y cloruros).

Cuando a la resina se le ha agotado la capacidad de intercambiar iones, ésta se regenera mediante una solución regenerante para recuperar completamente su capacidad de intercambio original. La regeneración de la resina se consigue haciendo pasar a través de la misma, una solución con el ion original, el cual se une a los radicales de la resina y desplaza a los iones captados durante el funcionamiento normal. Para regenerarlas se suele utilizar sal común, ácido clorhídrico o sulfúrico o sosa caustica.

En la figura 1.2 se presenta una imagen que presenta la forma esférica de las resinas, y su aplicación en cartuchos y equipos (columnas) de tratamiento de aguas.



Figura 1.2 Imágenes de la forma de las resinas, su aplicación en cartuchos y equipos de tratamiento de aguas que utilizan resinas.

La aplicación de los procesos con resinas se ha extendido al tratamiento de efluentes residuales de diferente grado de complejidad, ya sea como proceso único de depuración o complementario.

Específicamente en efluentes que contiene pigmentos han resultado ser eficientes. Algunas de publicaciones sobre la aplicación de este tipo de proceso se indican enseguida.

Greluk y Hubicki (2011) utilizaron resinas aniónicas Amberlite IRA-67 y Amberlite IRA-458 para la eliminación de Acid Orange 7 de una solución acuosa. Se estudiaron los efectos del tiempo de contacto, la concentración de colorante inicial, el pH de la solución inicial, la temperatura y la presencia de sales inorgánicas y tensioactivas en un sistema discontinuo. Como resultado se obtuvo que el rendimiento de las resinas fue afectado por el tiempo de contacto y las concentraciones iniciales de colorante.

Wawrzkievicz (2013) realizó un estudio para la eliminación de colorante blue 3 de aguas residuales mediante resinas catiónicas Lewatit MonoPlus (SP 112), Dowex Optipore (SD 2) y amberlite XAD (XAD 1180). Las capacidades de intercambio iónico fueron de 205 mg/mL para SP 112, 3.5 mg/mL para SD 2 y 6.5 mg/mL para

XAD 1180. Por tanto, mediante SP 112 se produjo la decoloración total del efluente después de 1 h de contacto.

En 2019 Awasthi y Datta realizaron un estudio para la eliminación de Reactive Blue - tinte 13 mediante aplicación de resina Amberlite XAD-7HP impregnada con Aliquat 336 indicando la remoción efectiva del colorante.

1.2.2 Procesos de membrana

Entre los procesos que más han evolucionado en las últimas décadas se encuentran los de filtración a través de membrana. Éstos consisten en forzar el paso del líquido a filtrar a través de una membrana, la cual permite el paso y rechazo de partículas con características particulares y tamaño que están contenidas en el líquido.

El líquido que pasa a través de la membrana se le llama permeado, y al que se rechaza se le llama rechazo.

Las operaciones de separación mediante membrana son ampliamente utilizadas y su uso es superior a los métodos convencionales por la capacidad de producir separaciones de forma muy eficiente a temperatura ambiente y por la relación costo/eficiencia.

En la separación por membranas se identifican 4 procesos regidos por presión. Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración y osmosis inversa, la diferencia en cada uno de estos procesos radica en el tipo de membrana. Las membranas para los dos primeros procesos son porosas, mientras que en nanofiltración y osmosis inversa son densas con poca o nula porosidad.

En la figura 1.3 se muestra los procesos de membrana regidos por presión, el rango de tamaño de poro para las membranas que se utilizan en dichos procesos y los

componentes que se pueden retener en cada rango de tamaño de poro (Pavithra et al., 2019)

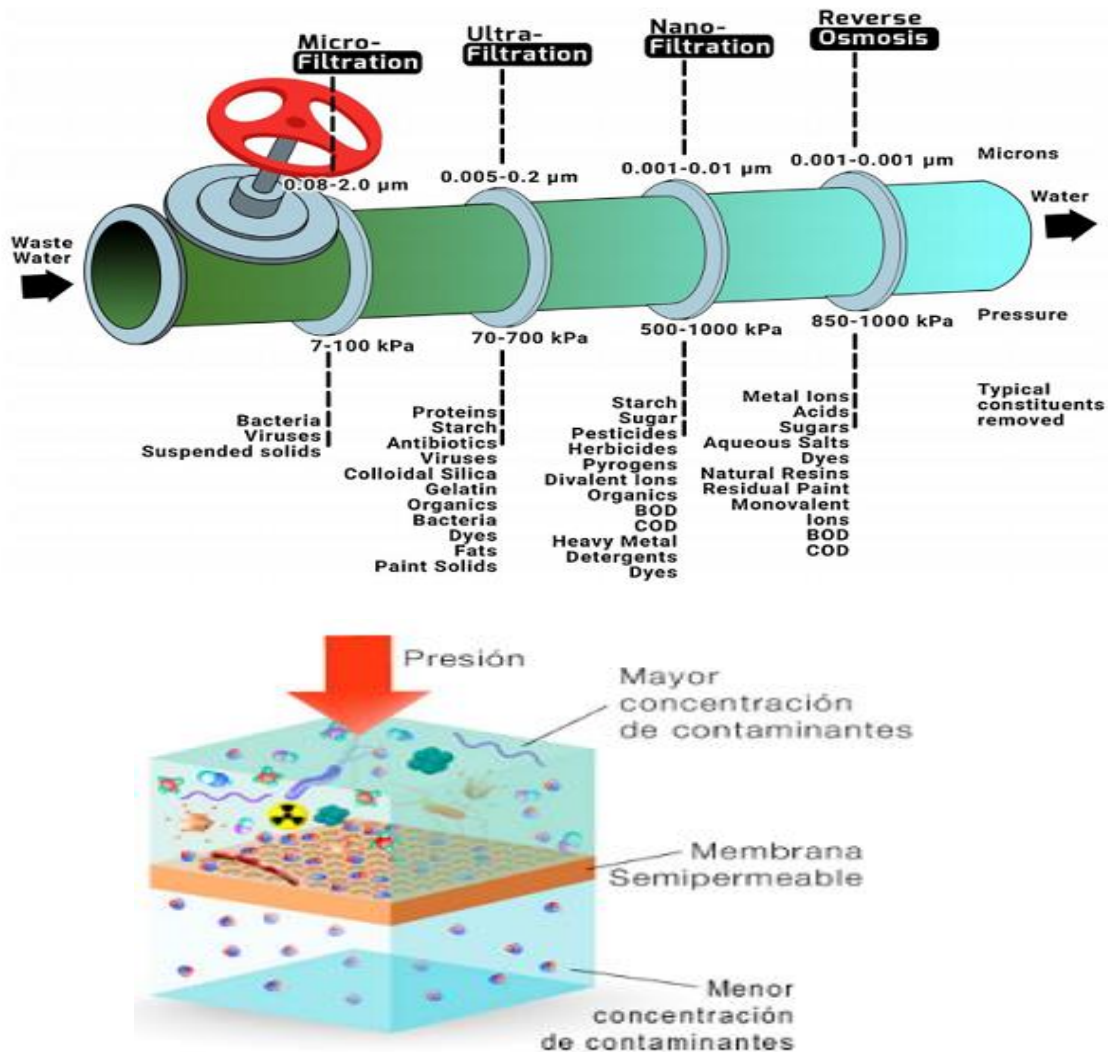


Figura 1.3 Imágenes de procesos de membrana regidos por presión y la forma de operar de una membrana.

Algunas ventajas y desventajas que ofrecen las membranas en relación con otras tecnologías son las siguientes.

1. Ofrecen una elevada eficiencia de separación donde el factor clave es el cut off de la membrana.
2. Son procesos que se pueden llevar a cabo a temperatura ambiente y de forma continua.

3. El consumo de energía no es elevado y no se requiere el uso de reactivos químicos (excepto antiincrustantes para limpiar las membranas).
4. La facilidad de combinación de esta técnica con otros procesos.
5. Plantas muy compactas que requieren poco espacio físico.
1. No es una técnica que elimine el contaminante, sino que lo concentra.
2. Se genera una corriente de rechazo/residuo que debe ser tratada correctamente.
3. También se debe tener en cuenta el costo de las membranas y su durabilidad. Es importante pre-tratar el efluente para alargar la vida útil de las membranas.
4. En función de la aplicación concreta, se pueden presentar problemas de degradación, ensuciamiento o polarización de la membrana. Problemas que, si bien se pueden solventar, dificultan e incrementan los costos de operación.

Las membranas son altamente factibles en el tratamiento de efluentes residuales industriales y presentan una alternativa factible para la recuperación de agua debido a que son procesos de complementarios de depuración (Pavithra et al. 2019). En procesos de tratamiento para la eliminación de colorantes de los efluentes residuales, las membranas son técnicas de membranas que son altamente eficientes y de bajo costo en comparación con otros procesos.

Particularmente, la osmosis inversa es ideal para efectos de purificación o retención de solutos de bajo peso molecular como son las sales. Para que esto ocurra, debe aplicarse una presión que venza a la presión osmótica natural. Se utiliza para remover con cierta sencillez contaminantes orgánicos e inorgánicos, el uso de energía para procesar agua salobre es del rango de 2 a 2.8 Kwh/m³ de agua producida, las plantas de producción que emplean osmosis Inversa generalmente tienen una alta tasa de producción.

Con respecto a su costo, la osmosis inversa es considerada con costos bajos de instalación, y medianos en su mantenimiento. El impacto ambiental de este proceso es prácticamente bajo.

Algunas investigaciones que reportan el uso de membranas para tratamiento de efluentes residuales se enuncian a continuación.

En 2013 Lau et al., usaron 3 membranas comerciales de UF de diferente material y umbral de corte (MWCO) para tratar un efluente residual. Los resultados revelaron que se logró un rechazo del 92 % de turbiedad, reducción de la DQO en 70.9-91.5 %, 60 % en conductividad y eliminación de TDS en comparación de 13.6-35.4 %.

En (2016) Peñuela et al., implementaron en un efluente industrial un proceso de membranas para para la recuperación del colorante amarillo ácido 23 usado en la coloración de textiles, así como en el sector alimenticio. Para el tratamiento se evaluó una membrana de nanofiltración. Los resultados obtenidos de la remoción del colorante fueron en promedio de 97.86% a pH 4.5, de 98.87% a pH de 7.5 y de 98.69% a pH de 9.5. La membrana presentó un alto porcentaje de retención del colorante, con un promedio del 98.64%.

Mora et al. (2013) realizaron un proyecto para la eliminación de sal y metanol del agua residual industrial por ósmosis inversa. Se pudo observar que la OI rechazó los iones polivalentes (B, Ca, Cu, Mg, Mn, Fe, Sr, Zn) y también los monovalentes (Cu, K, Na). El filtrado obtenido con baja concentración de Compuestos Orgánicos Volátiles (COV) puede ser reciclado y reutilizado en la misma tecnología.

1.3 Análisis integral de factibilidad de un proyecto de inversión en procesos de tratamiento de agua

En general, la evaluación de un proyecto de inversión implica un análisis de factibilidad en el que intervienen cuestiones técnicas, financieras, ambientales y de administración.

El objetivo central del estudio de factibilidad integral se basa en la necesidad de que cada inversión esté debidamente fundamentada y documentada donde las

soluciones técnicas, medio ambientales y económicas-financieras sean las mejores para el inversionista y el ambiente (Polimery, 2005)

Un proyecto de inversión es factible cuando se cumplen los tres estudios básicos:

1. Estudio de factibilidad técnica
2. Estudio de factibilidad medio ambiental.
3. Estudio de factibilidad económica-financiera

Para realizar un análisis de factibilidad de inversión que realmente contribuya al proceso de toma de decisión es necesario tener en cuenta que cada uno de sus estudios se complementa y constituyen en su conjunto un sistema de evaluación que ayuda a establecer la factibilidad de llevar a cabo una inversión determinada.

La aprobación de cada uno de los estudios planteados determina la viabilidad del proyecto. Estas viabilidades se deben dar al mismo tiempo para alcanzar la factibilidad, ya que dentro de este tendrán iguales niveles de importancia a la hora de llevarlo a cabo.

Al realizarse el proceso de análisis de factibilidad se le otorga a cada estudio que lo compone igual nivel de importancia; de resultar negativo para el proyecto uno de ellos, la inversión no debe llevarse a cabo (Ramírez, 2009).

1.3.1 Estudio de factibilidad técnica

El estudio de factibilidad técnica se tiene como objetivo demostrar la viabilidad del proyecto, al justificar la alternativa técnica que mejor se adapte a los criterios del proyecto.

Para realizar este estudio se analiza la tecnología, tamaño y localización del equipo e instalaciones que se requieren para la implementación del proyecto.

Este estudio pretende resolver las preguntas referentes a dónde, cuánto, cuándo, cómo y con qué, tal como se presenta en la figura 1.5.

Antes de decidir por un tipo de tecnología que implica la obtención del producto en el proyecto se debe realizar un análisis de las condiciones óptimas que requiere cada proceso y etapa que conforma el proyecto, así como, el análisis del producto.

El análisis del producto está constituido por dos tipos de análisis, la propuesta de la solución a la problemática y los requerimientos para dicha propuesta del proyecto. En la figura 1.4 se representa un diagrama de los aspectos que integran el análisis del producto.

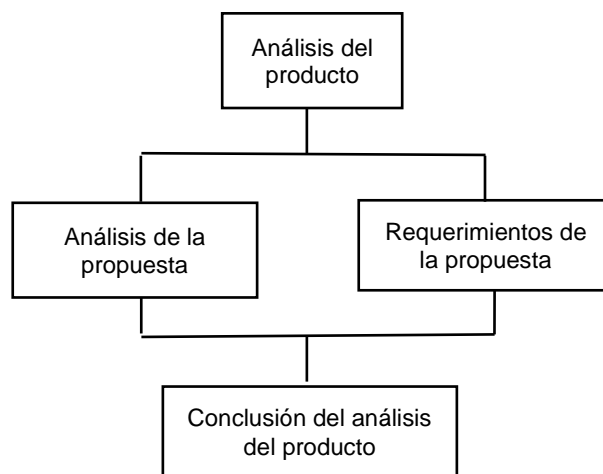


Figura 1.4 Estructura del análisis del producto.

En el contexto de la recuperación de agua a partir de tratamiento de efluentes residuales industriales, el análisis del producto en el estudio técnico tiene como fin el determinar la viabilidad en la implementación de los procesos de tratamiento de efluentes residuales mediante la identificando de los requerimientos para recuperar el agua y su calidad para un reúso definido. Estos elementos se pueden asociar cuantitativamente a la cantidad y calidad del agua tratada, como volumen o caudal volumétrico o de masa del agua tratada o recuperada y a la calidad de agua con la que cuenta el agua recuperada bajo cierta normatividad según su reúso.

Por su carácter preliminar, el análisis del producto contribuye a disminuir el riesgo que toda decisión lleva consigo, pues permite conocer mejor los antecedentes del problema (Kotler, 1992).

Para llevar a cabo el análisis de producto que, en el caso de un proyecto de tratamiento y recuperación de agua, es precisamente el agua. Por tanto, se deben reunir los datos que permitan identificar la calidad del agua, así como señalar sus características físicas, químicas o de cualquier otra índole. También es importante señalar los subproductos o residuos en el tratamiento de los efluentes residuales a los que se le puede sacar una segunda utilidad al identificar que uso que se les dará; ya que es ventajoso encontrar una utilidad para los residuos y convertirlos en subproductos aprovechables de algún modo, así, en vez de pagar el costo de eliminar el residuo extraído de las aguas residuales, se crea la posibilidad de obtener un beneficio. Además de la ventaja económica, está la ventaja ambiental de reducir o eliminar los residuos que en otro caso recibiría el entorno.

En el análisis del proyecto se debe estimar el reúso del agua, es decir, las distintas áreas y procesos en las que se empleará. Por tanto, es necesario conocer los volúmenes de agua que la industria ocupa y los procesos de tratamiento están dispuestos a procesar y que justifican la realización de los programas de producción. Se debe cuantificar la necesidad real de la industria, con disposición de poder adquisitivo suficiente. Esto generalmente se hace a través de la obtención de información directa, el análisis de la industria debe comprender también, la evolución de la demanda actual de agua, y el análisis de ciertas características y condiciones que sirvan para explicar su probable comportamiento a futuro.

Dentro del análisis del producto es necesario tener en cuenta el precio del agua a tratar para su recuperación y el precio del agua que se puede comprar para reúso. Una vez que se han determinado ambos precios, éstos se utilizan para las estimaciones financieras del proyecto mediante la correlación de la oferta y la demanda.

Para seleccionar el tamaño de un nuevo proyecto se requiere haber descrito previamente el proyecto y sus etapas en cuestión con el objetivo de establecer las partes del proyecto y poder seleccionar el tipo de tecnología y así lograr calcular el posible déficit de capacidad que habrá a mediano y largo plazo para poder satisfacer

el surtido y la cantidad de bienes a producir en el futuro, además de las dimensiones que deben tener las instalaciones y la capacidad de la maquinaria y equipos requeridos por el proceso.

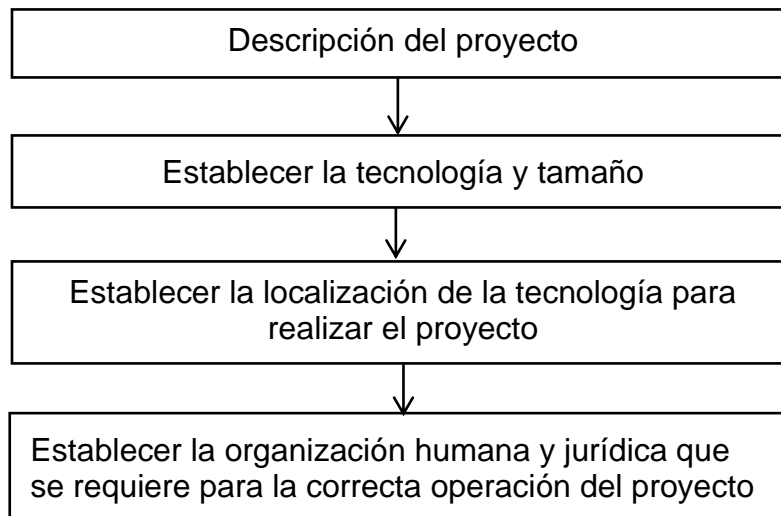


Figura 1.5. Partes que conforman un estudio técnico (Urbina, 2001).

El tamaño de la tecnología también determina la cantidad de la capacidad de abastecimiento del producto o bien obtenido en una unidad de tiempo.

En casos específicos de proyectos relacionados con tratamientos de agua, el estudio técnico también comprende los materiales o insumos que se requieren para realizar la depuración del agua, así como la generación de residuos, ya que impactan en el área que se colocara el proyecto tal como se indica en la figura 1.6.

En la localización de la tecnología se tiene como propósito encontrar, determinar y/o conocer el área donde se localizará el proyecto para cubrir las exigencias o requerimientos. Para el estudio técnico se consideran los costos por insumos, transporte, topografía y situación del terreno. A esta etapa se le llama macro localización.

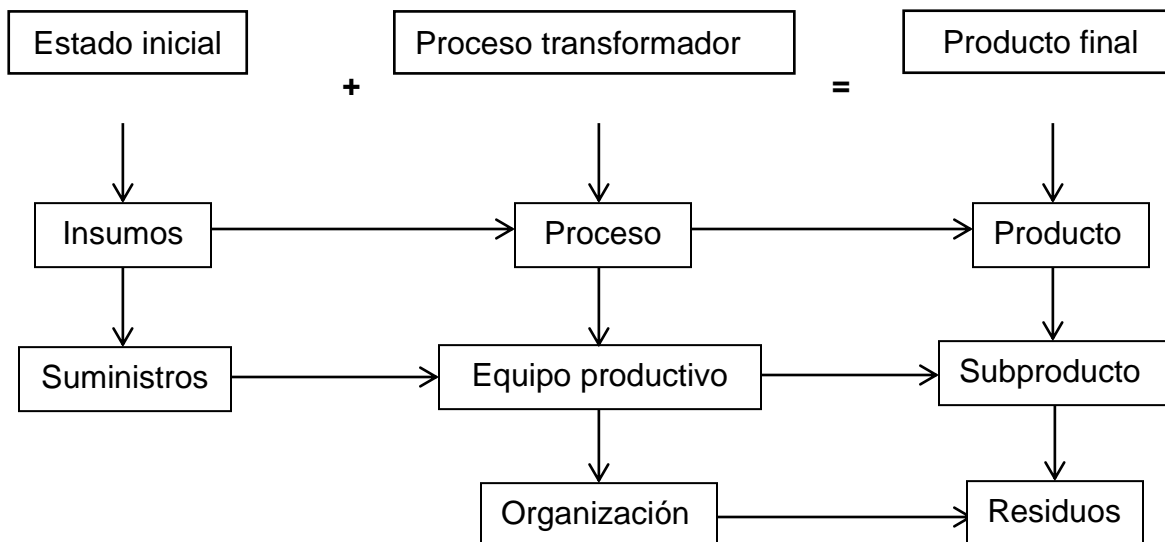


Figura 1.6. Aspectos que deben considerarse en el estudio de factibilidad técnica de un proceso de producción (BACA, 2001).

Para proyectos de recuperación de agua, la localización de la tecnología contribuye a lograr una rapidez en el proceso de tratamiento y accesibilidad al área de tratamiento. Esta parte es fundamental y de consecuencias a largo plazo, ya que, una vez establecida la tecnología del proceso de tratamiento de aguas residuales, la empresa no podrá cambiar de manera frecuente la ubicación, ya que se generan gastos extras por reubicación del proyecto, siendo estos aspectos negativos para el proyecto que podrían indicar una inversión negativa. También podría implicar el incremento en insumos y transporte entre otros aspectos, por lo que es de suma importancia analizar la mejor ubicación que deberá tener la tecnología para llevar a cabo el proyecto.

El estudio también comprende las características específicas del sitio en que se ubicará la tecnología y se desarrollará el proyecto a esta etapa se le conoce como estudio de micro localización.

En la macro localización es conveniente presentar planos de localización general de la ubicación, para tener una apreciación visual más amplia, donde se muestran las vías de acceso a la población, las redes de comunicación y todos aquellos servicios públicos que constituyen una ventaja para el proyecto. Para una planta de

tratamiento de efluentes industriales, los factores de estudio que inciden con más frecuencia son: el relieve del terreno. De manera secundaria están: infraestructura física y de servicios (suministro de agua, facilidades para la disposición y eliminación de residuos, disponibilidad de energía eléctrica, combustible, servicios públicos diversos, etc.)

Después de determinar y/o conocer el tamaño de la tecnología que se requiere para un proyecto de inversión, es necesario calcular con base en las etapas del proyecto, proceso, producción y/o en la operación de los equipos al número de los trabajadores necesarios que se requieren para el funcionamiento óptimo.

Esto se realiza mediante un organigrama de puestos para planificar la comunicación interna y el flujo de trabajo, estructurar un organigrama es fundamental para agilizar los procesos. El organigrama tiene como objetivo presentar, de forma clara, objetiva y directa, la estructura jerárquica del proyecto de inversión, todos los cargos y funciones están ahí.

El organigrama de puestos ayuda a la división interna, pero también contribuye a agilizar procesos, la estructura organizacional de una empresa depende de su naturaleza y dimensión. Para proyectos de recuperación de aguas se desarrollan organigramas con pocos puestos, pero de conocimientos amplios, es decir, mano de obra altamente calificada.

Otro factor para considerar en el estudio técnico es el Marco jurídico e institucional del país, de la región o la localidad.

El marco legal se refiere a una serie de reglas y códigos de normatividad que en materia fiscal, sanitaria, civil y penal debe sujetarse todo proyecto de inversión y actividad empresarial por encontrarse incorporado a un determinado marco jurídico. Por esa razón el marco jurídico, es de vital importancia para la realización de un proyecto de inversión ya que en él se toma en cuenta el marco jurídico al que habrá que acatarse para el mejor aprovechamiento de los recursos de que se dispone, evitando en lo más posibles futuras complicaciones de índole legal.

En el marco jurídico de un proyecto se deberán indicar las normas nacionales e internacionales empleadas en la construcción del proyecto. En proyectos específicos de recuperación de agua provenientes de efluentes industriales la estructura legal que se contempla en estos proyectos, corresponde a disposiciones legales de tipo local, es decir, aquellas reglamentaciones y decretos jurídicos vigentes que establecen las autoridades correspondientes para la implementación del proceso de tratamiento de aguas residuales para su recuperación que para este caso sería el marco jurídico de la auditoría ambiental que interviene en el contexto de evaluación del cumplimiento empresarial de la regulación ambiental entre la empresa y el ambiente.

El marco ambiental en la administración local es quien describe el ambiente físico actual del sitio en donde se pretende implementare el proyecto, siendo el encargado de la regulación el gobierno municipal y la administración pública local mexicana. El marco jurídico de los residuos de manejo especial en el derecho ambiental mexicano en el contexto de residuos sólidos y peligrosos y de las materias jurídicas relativas al suelo, agua, material y residuos peligrosos para el correcto funcionamiento legal del proyecto. Por lo cual es importante prever detalladamente cada requerimiento legal para un giro de esta naturaleza y evitar futuros problemas que impliquen alguna sanción o multa que afecte la operatividad normal del proceso a implementar.

1.3.3 Estudio de factibilidad ambiental

Todos los proyectos, como consecuencia de su actividad, repercuten sobre el medio ambiente, generando, en mayor o menor medida, un efecto ambiental. Por tanto, la implementación de un proyecto de inversión requiere de un estudio de factibilidad ambiental, lo cual significa que el proyecto debe ser amigablemente viable para el ambiente, con afectaciones mínimas a éste.

Para determinar si un proyecto tiene factibilidad ambiental se debe evaluar el efecto que produce en el ambiente, el cual se define como la diferencia existente entre la situación del medio futuro modificado (proyecto ejecutado), y la situación del medio tal y como éste habría evolucionado sin la realización del mismo, conocido como alteración neta (Conesa, 1993).

El realizar la evaluación de un efecto ambiental permite evitar problemas ambientales, mejorar el entorno y calidad de vida de los humanos y generar conciencia ecológica. Para realizar la evaluación correspondiente, se debe contar con herramientas de juicio previo, imparcial y lo menos subjetivo posible sobre la importancia de los efectos o alteraciones que se producen por la implementación del proyecto. Como consecuencia se debe estudiar la posibilidad de evitarlos o reducirlos a niveles aceptables, mediante la identificación, cuantificación y mitigación en forma preventiva o correctiva.

La identificación de aquellos efectos ambientales derivados de las actividades del proyecto tiene la finalidad de establecer las acciones pertinentes para actuar sobre ellos y minimizar el impacto negativo que puedan tener sobre el medio ambiente. Para poder actuar sobre los efectos ambientales, se deben identificar todas las actividades que intervienen en el proyecto, para seguidamente evaluarlas y priorizar para actuar. Para poder realizar con éxito la identificación y evaluación de las actividades que comprenden el proyecto, se debe tener clara cuáles son las posibles áreas de incidencia (Ihobe, 2009)

Con la evaluación del efecto ambiental en un proyecto de inversión, se busca identificar, predecir e interpretar los efectos al ambiente que dicho proyecto o actividad produciría en caso de ser ejecutado, así como la de prevenir, corregir y valorar los mismos, con el fin de que éste sea aceptado, modificado o rechazado dentro del marco de la factibilidad del proyecto.

De acuerdo con Conesa (1997) se propone una clasificación de afectaciones ambientales de mayor ocurrencia sobre el medio ambiente, diferenciándolos por su intensidad, por la variación de la calidad ambiental, por su extensión, persistencia,

momento en que se manifiestan, por su capacidad de recuperación, por su periodicidad, y por la relación causa-efecto.

En las tablas 1.2 y 1.3 se presentan los tipos de afectaciones ambientales que puede causar un proyecto en base a lo mencionado por Conesa, (1997).

Para realizar la evaluación del efecto ambiental existe un gran número de métodos, muchos de los cuales han sido desarrollados para proyectos específicos, impidiendo su generalización a otros. Sin embargo, se considera un factor de afectación y se establecen los elementos que constituyen la evaluación, tales como, el área de donde proviene la actividad que produce el efecto y la causa, así como, las condiciones de funcionamiento en que se produce (normales, anormales o accidentales). En la tabla 1.4 se muestran los elementos mencionados que intervienen en el método lhobe para la evaluación del efecto ambiental.

A su vez, la evaluación del efecto ambiental implica proporcionar una magnitud del efecto, su significancia y su peligrosidad. La magnitud se refiere a la calidad y cantidad del factor ambiental afectado; mientras que la significancia, el nivel de afectación, y la peligrosidad, el grado de toxicidad u otro adjetivo del efecto ambiental.

Dentro de la magnitud del efecto ambiental se establece la cantidad, frecuencia y extensión del efecto, asignando una calificación cualitativa al efecto (bajo, medio y alto) y cuantitativa (1, 2, 3), de acuerdo con la significancia, la cual suele definirse como la importancia condicionada por la intensidad, la extensión, el momento y la reversibilidad de la acción y se establece como alta media y baja, dentro de un nivel de significancia significativo (S) y no significativo (NS).

Como parte de la magnitud también se puede considerar un signo (+, -) indicando si es benéfico o si es perjudicial.

En la tabla 1.5 se describe los criterios que se consideran para establecer la magnitud de un efecto ambiental y en la tabla 1.6 los niveles de significancia establecidos por (Ihobe, 2009).

Tabla 1.2 Tipos de afectaciones ambientales que causa un proyecto con base en la interrelación entre acciones y/o efectos.

Tipo de afectación	Descripción
Simple	Su efecto se manifiesta sólo en un componente ambiental, sin efectos acumulativos ni de generación de nuevos efectos.
Acumulativos	El efecto aumenta con el tiempo su gravedad en razón de la incapacidad del medio para eliminarlo mínimamente a la tasa en que éste se produce. Es el caso de la acumulación progresiva -o magnificación- de materiales pesados en organismos vivos, cuyos niveles en ocasiones pueden producir la muerte.
Sinérgico	Cuando el efecto conjunto de varias acciones conlleva una incidencia ambiental de mayor importancia a la que se tuviera con la suma de las incidencias consideradas cada una por aparte. Se incluyen, además, aquellos cuyo modo de acción induce con el tiempo la aparición de otros nuevos

Tabla 1.3 Tipos de afectaciones ambientales que causa un proyecto de acuerdo con la periodicidad de ejecución de las actividades implícitas.

Tipo de afectación	Descripción
Continuo	Su efecto se manifiesta a través de alteraciones con una permanencia constante en el tiempo.
Discontinuo	A diferencia del anterior, su efecto se manifiesta a través de alteraciones irregulares en su permanencia.
Periódico	Su efecto se manifiesta en forma intermitente y continua en el tiempo -cíclica o recurrente. A este tipo pertenece el incremento de los incendios forestales o de praderas en épocas de verano.
Aparición irregular	Su efecto se manifiesta en forma imprevisible en el tiempo, y es preciso evaluar sus alteraciones en función de una probabilidad de ocurrencia, especialmente cuando revisten gravedad excepcional. Este puede ser el caso de incremento de riesgo de inundaciones a raíz de modificaciones hechas en el curso de un río.

Tabla 1.4 Elementos que intervienen en el método Ihobe para la evaluación del efecto ambiental.

Identificación			Condiciones de Funcionamiento			Evaluación		
Área	Operación o Actividad	Causa asociada	Normal	Anormal	Accidental o Incidental	Magnitud	Toxicidad-Peligrosidad	Significancia S/NS

Tabla 1.5 Criterios de magnitud de un efecto ambiental

Criterio de magnitud				
Cantidad	Frecuencia	Extensión	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Cantidad generada del aspecto > 100% del año de referencia.	Duración del aspecto entre el 75% y el 100% del tiempo de actividad.	Superficie contaminada > del 50% de la superficie total.	Alta (A)	3
Cantidad generada del aspecto entre el 85% y el 100% del año de referencia.	Duración del aspecto entre el 50% y el 75% del tiempo de actividad.	Superficie contaminada entre el 10% y el 50% de la superficie total.	Media (M)	2
Cantidad generada del aspecto < al 85% del año de referencia	Duración del aspecto entre el 50% y el 75% del tiempo de actividad	Superficie contaminada < del 10% de la superficie total	Baja (B)	1

Tabla 1.6 Niveles de significancia de la magnitud de un efecto ambiental.

Magnitud	Alta	Media	Baja
Alta	S	S	S/NS
Media	S	S/NS	NS
Baja	S/NS	NS	NS

En las tablas 1.7-1.14 se establecen las calificaciones cuantitativas de los efectos de los aspectos ambientales en distintos criterios (Ihobe, 2009).

En la tabla 1.15 se muestra el efecto ambiental de acuerdo con el resultado de la ecuación para determinar efecto ambiental del método Ihobe.

Tabla 1.7 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de peligrosidad y toxicidad en condiciones normales.

Criterio de peligrosidad o toxicidad			
Aspecto ambiental	Alta (A)-3	Media (M)-2	Baja (B)-1
Generación de Residuos.	Residuos peligrosos.	Residuos no peligrosos con destino final a vertedero.	Residuos no peligrosos que se destinen a valorización, reciclaje o reutilización.
Consumo Energético.	Carbón, Fuel, Gasóleo.	Gas Natural y Energía Eléctrica.	Energías renovables
Consumo de sustancias.	Inflamables, tóxicas, corrosivas.	Nocivas, irritantes.	Sin peligrosidad asignada.
Contaminación del suelo.	Todos los casos.		

Tabla 1.8 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de límites de referencia en condiciones normales.

Criterio de acercamiento a límites de referencia.		
	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Valor del parámetro entre el 80% y 100% del límite legal o de referencia.	Alta (A)	3
Valor del parámetro entre el 50 y 80% del límite legal o de referencia.	Media (M)	2
Valor del parámetro < del 50% del límite legal o de referencia.	Baja (B)	1

Tabla 1.9 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de sensibilidad al medio en condiciones normales.

Criterio de sensibilidad del medio			
Aspecto ambiental	Alta (A)-3	Media (M)-2	Baja (B)-1
Residuos.	Entrega a gestor para su eliminación o deposición en vertedero.	Entrega gestor para su valorización o reciclado.	Reciclar o valorizar internamente en la empresa.
Consumo de Agua.	Subterránea, río.	Red Municipal en Zona no Excedentaria.	Red Municipal en Zona Excedentaria.
Vertido de Agua.	Cauce público o mar con fauna o interés ecológico.	Cauce público o mar sin fauna o interés ecológico.	Colector municipal o depuradora.
Emisiones atmosféricas de ruido, u olores.	Zona urbana residencial o de interés ecológico.	Zona industrial cercana a viviendas o zona residencial.	Zona industrial lejana a viviendas o núcleos urbanos.
Contaminación del suelo.	Zonas verdes, de tierra o grava.	Zonas asfaltadas u hormigonadas.	

Imagen.	Áreas verdes, naturales como bosques.	Área industrial o urbana sin degradar.	Área industrial o urbana y degradada.
Medio natural.	Zona con flora o fauna de alto valor ecológico.	Zona con flora o fauna sin valor ecológico y sin degradar.	Zona con flora o fauna degradada.

Tabla 1.10 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de regulación en condiciones normales.

Criterio de estados de regulación		
	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Regulado por legislación u otros requisitos de obligado cumplimiento.	Alta (A)	3
Regulado en un futuro, no exigido en la actualidad.	Media (M)	2
No regulado.	Baja (B)	1

Tabla 1.11 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de probabilidad/frecuencia en condiciones de emergencia.

Criterio de probabilidad/frecuencia		
	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
El incidente, accidente o situación de emergencia ocurrirá más de una vez al mes.	Alta (A)	3
El incidente, accidente o situación de emergencia ocurrirá menos de una vez al mes, pero más que una vez al año.	Media (M)	2
El incidente, accidente o situación de emergencia ocurrirá una vez al año o menos de una vez al año.	Baja (B)	1

Tabla 1.12 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de extensión en condiciones de emergencia.

Criterio de extensión		
	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Extenso: área de influencia externa, superando los límites de la empresa.	Alta (A)	3
Local: área de influencia local o parcial, sin superar los límites de la empresa.	Media (M)	2
Aislado: área de influencia puntual.	Baja (B)	1

Tabla 1.13 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales en criterio de peligrosidad en condiciones de emergencia.

Criterio de peligrosidad		
	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Peligroso: sustancias calificadas como, inflamables, tóxicas, irritantes, peligrosas para el medio ambiente (incluidas los RP's) o restringidas por requisitos legales u otros.	Alta (A)	3
Peligrosidad menor: sustancias calificadas como nocivas, irritantes, residuos no peligrosos no valorizables y sustancias que van a restringirse en un futuro por requisitos legales u otros.	Media (M)	2
No peligroso: sustancias que no tienen peligrosidad asignada, así como residuos valorizables o reciclables que no tienen peligrosidad asignada, así como residuos valorizables o reciclables.	Baja (B)	1

Tabla 1.14 Calificación de los efectos de los aspectos ambientales de acuerdo con el criterio de sensibilidad al medio en situaciones de emergencia.

Criterio de sensibilidad del medio		
	Calificación cualitativa	Calificación cuantitativa
Muy sensible, entorno natural con flora y fauna, zonas de tierra, cauces o regatas de agua, áreas donde la calidad del aire está catalogada como excelente, entorno urbano residencial, etc.	Alta (A)	3
Sensible, entorno asfaltado u hormigonado, colector municipal, áreas donde la calidad del aire está catalogada como normal, entorno industrial con viviendas cercanas.	Media (M)	2
No sensible, entorno con medidas preventivas de contención como cubetos de contención, depuradora de la propia organización, áreas donde la calidad del aire está catalogada como contaminada, entorno industrial con núcleos urbanos o viviendas muy lejanas.	Baja (B)	1

De acuerdo con la ponderación establecida en el proyecto, se puede determinar el efecto ambiental que podría generar su implementación y funcionamiento.

La ecuación (1) es útil para establecer una calificación cuantitativa del efecto ambiental del proyecto.

$$\text{Efecto ambiental} = R = \frac{\text{calificación cuantitativa total de los efectos}}{\text{calificación cuantitativa total de los criterios}} \quad (1)$$

Una vez que es determinada la calificación cuantitativa del efecto ambiental, se designa una calificación cualitativa de acuerdo con lo establecido en la tabla 1.15 (Ihobe, 2009).

Tabla 1.15 determinación del efecto ambiental de acuerdo con índice R.

R= resultado	Efecto ambiental
$1 \leq R < 1.5$	Bajo
$1.5 \leq R < 2$	Bajo con tendencia a medio
$2 \leq R < 2.5$	Medio
$2.5 \leq R < 3$	Medio con tendencia a alto
$R = 3$	Alto

En el caso de un proyecto de tratamiento de un efluente industrial, la repercusión al ambiente provendrá de los procesos y actividades que se aplican para la depuración del agua, generando, en mayor o menor medida, un impacto que consistirá en cualquier cambio al ambiente sea adverso o beneficioso.

La identificación del área y la etapa que produce un efecto ambiental y sus condiciones de funcionamiento evalúan el efecto y lugar o zona de afectación.

Como guía para realizar la evaluación del efecto ambiental del proyecto se identifican los residuos peligrosos, residuos inertes o inertizados, residuos urbanos o municipales, emisiones, inmisiones, captación de agua, vertido de aguas residuales, ruido y vibraciones, olores, almacenamiento, transporte, consumo de agua, consumo de energía, consumo de combustibles, consumo de papel y contaminación del suelo.

De lo anterior, se debe identificar cuáles son sus posibles áreas de incidencia que pueden estar determinadas por residuos, atmósfera, agua, ambiente exterior, sustancias peligrosas, recursos naturales o suelos y en consecuencia, los efectos ambientales que genera o puede generar como la contaminación del suelo, de las aguas subterráneas, detrimento de la biodiversidad, bioacumulación, riesgos para la salud humana, destrucción de la capa de ozono, efecto invernadero, lluvia ácida, smog, eutrofización de cuerpos de agua. Esto debido al vertido de efluentes residuales sin tratar, disminución de la biodiversidad, muerte de especies acuáticas

entre otros efectos de acuerdo con los tipos y características de residuos que se generan a través de las actividades.

Por otro lado, para cumplir con la normatividad ambiental en México, al menos debe cuidarse que los procesos de tratamiento y el agua recuperada se apeguen a la normatividad que rige al país. Entre la normativa ambiental vigente que impacta al tratamiento de aguas, se encuentra la NOM-001-SEMARNAT la cual indica las características que deben tener los efluentes que tras su generación y/o tratamiento son vertidas a cuerpos de agua nacionales; mientras que aquellas que son vertidas a drenaje o alcantarillado público deben de cumplir con la NOM-002-SEMARNAT; y los efluentes que tras su generación y/o tratamiento serán reutilizadas ya sea en riego agrícola o de jardines, reúso, en limpieza, actividades recreativas, o en sanitarios están regida por la NOM-003-SEMARNAT. Adicionalmente, la NOM-004-SEMARNAT-2002, también debe considerarse ya que menciona los límites máximos de lodos y biosólidos que se debe tener en la generación de éstos, por el tratamiento de aguas, así como su aprovechamiento y disposición final, a fin de proteger al ambiente.

.3.4 Estudio de Factibilidad Económica- Financiera

En el estudio económico financiero figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario, indicando la rentabilidad económica de un proyecto de inversión.

En la figura 1.7 se expone los elementos que conforman la estructura del análisis económico (Baca, 2001).

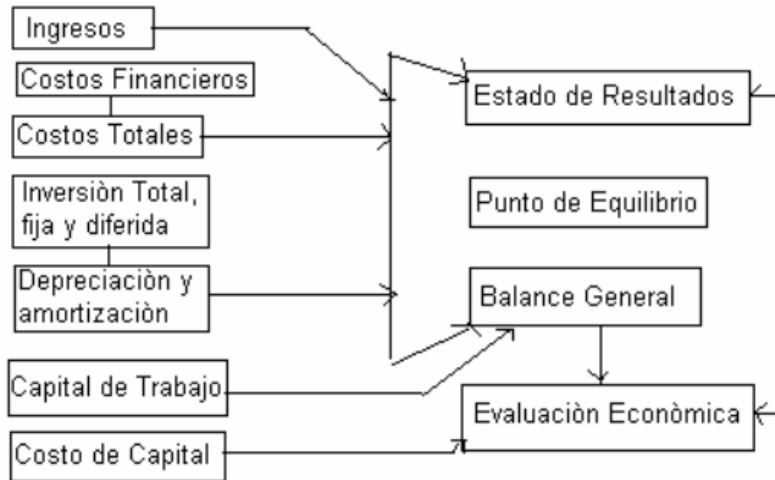


Figura 1.7 Estructura del análisis económico.

Dentro de los elementos que se evalúan se encuentran el costo financiero y los beneficios del proyecto. El cálculo de éstos se utiliza para la medición de la utilidad, para el cálculo de los flujos de efectivo, así como para la fijación de los precios del producto.

Los elementos que componen el costo financiero de un producto son los materiales, manos de obra, los gastos indirectos de implementación/producción. Donde tanto los costos financieros de los materiales como de mano de obra se pueden dividir en directos e indirectos, desembolso en efectivo o en especie y en cualquier lapso de tiempo (pasado, presente y futuro).

En el análisis temporal de proyectos de inversión existen varios criterios de evaluación de la inversión, los cuales se clasifican en dos grandes grupos de técnicas: estáticas y dinámicas. Las primeras se caracterizan por no considerar el valor del dinero en el tiempo, los flujos de efectivo son los mismos en todos los años por lo que ofrecen resultados poco confiables y se utilizan para inversiones que tienen poco tiempo para su ejecución; Período de recuperación simple (PERs), Tasa media de rentabilidad (TMR) (Kotler, 1992).

Por otra parte, las técnicas dinámicas las cuales consideran el valor del dinero en el tiempo entran en la operación de descuento y capitalización, sus resultados son más confiables y complejos de calcular. Entre éstas se encuentran el Período de

recuperación descontado (PERd); Tasa interna de rentabilidad (TIR); Tasa verdadera de rentabilidad (TVR); Plazo financiero medio (PFM); Valor actual o presente neto (VAN); Razón beneficio costo (B/C); Valor futuro neto (VFN); Costo total actualizado (CTA); Costo anual equivalente (CAE) (Bierman, 1994).

Existen diversos criterios para seleccionar proyectos de inversión, aunque en la práctica los más usados, son los que a continuación se mencionan (Kelety, 2000). El criterio del plazo de recuperación simple o pay back (Pers), se basa en determinar el plazo de recuperación o pay back de una inversión, también llamado pay off, pay out, pay cash, es decir, el tiempo en que se tarda en recuperar el desembolso inicial. Este se calcula acumulando los flujos de efectivo en el tiempo hasta que su suma sea igual a dicho desembolso inicial. Este criterio se basa en que la inversión más conveniente es aquella cuyo PERs esperado sea más corto según Brealy & Myers (1998).

El PERd es una versión del plazo de recuperación simple que tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo. En la ecuación (2) se indica la expresión que se utiliza para el cálculo del periodo de recuperación.

$$\text{PERd} = \frac{\text{AAR} + \text{CRS}}{\text{FEA}} \quad (2)$$

PERd (periodo de recuperación descontado)

AAR (año anterior a la recuperación)

CRS (costos no recuperados al año siguiente)

FEA (flujos de efectivo de ese año)

El criterio del plazo de recuperación descontado responde a la interrogante de cuántos períodos son necesarios para que el proyecto tenga razón de ser teniendo en cuenta el valor del dinero en el tiempo. El PERd depende aún de la fecha tope escogida arbitrariamente e ignora todavía los flujos de caja producidos después de esta (Kelety, 2000).

El VAN representa el máximo valor que la empresa puede pagar por la opción a invertir, sin incurrir en pérdidas financieras de oportunidad, el VAN o valor capital de

una inversión es el valor actualizado de todos los flujos de caja esperados en el momento actual conociendo la tasa de interés del capital (r), la duración del proyecto (n) y la inversión inicial (I_0) referidos con anterioridad. El VAN será calculado según la siguiente fórmula (Bierman, 1994).

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n FE \div (1+r)^i \quad (3)$$

El VAN representa la rentabilidad en términos absolutos de un proyecto de inversión. Según este criterio la decisión de inversión se apoya en el siguiente razonamiento:

Si $VAN > 0$, la inversión debe llevarse a cabo ya que es rentable para la empresa
Si $VAN < 0$, la inversión no debe realizarse porque no es rentable para la empresa.
Si $VAN = 0$, es igual que la inversión se realice o no ya que no modifica el patrimonio de la empresa.

La TIR es el tipo de descuento que hace igual a cero el VAN de dicho proyecto, es decir:

$$VAN = -I_0 + \sum_{i=1}^n FE \div (1+r)^i = 0 \quad (4)$$

Donde es la TIR del proyecto

I_0 (inversión inicial)

FE (flujo de efectivo)

n (duración del proyecto)

La TIR representa el porcentaje o tasa de interés ganado sobre el saldo no recuperado de una inversión. Es la rentabilidad obtenida sobre el capital mientras esté invertido, tras permitir el reembolso parcial de la inversión. Por tanto, a partir del TIR se escoge la alternativa que teóricamente es mejor, siendo aquella que proporciona mayor beneficio por unidad monetaria invertida (Kelety, 2000).

2 MÉTODO

El proyecto de factibilidad de inversión que se estudia en este trabajo consiste en un proyecto de recuperación de agua proveniente de un efluente industrial, las alternativas de los procesos a utilizar para la recuperación de agua son: 1) mediante resinas de intercambio iónico, 2) mediante resinas de intercambio iónico y ósmosis inversa.

En la figura 2.1 se presentan las etapas de la metodología a seguir en la investigación.

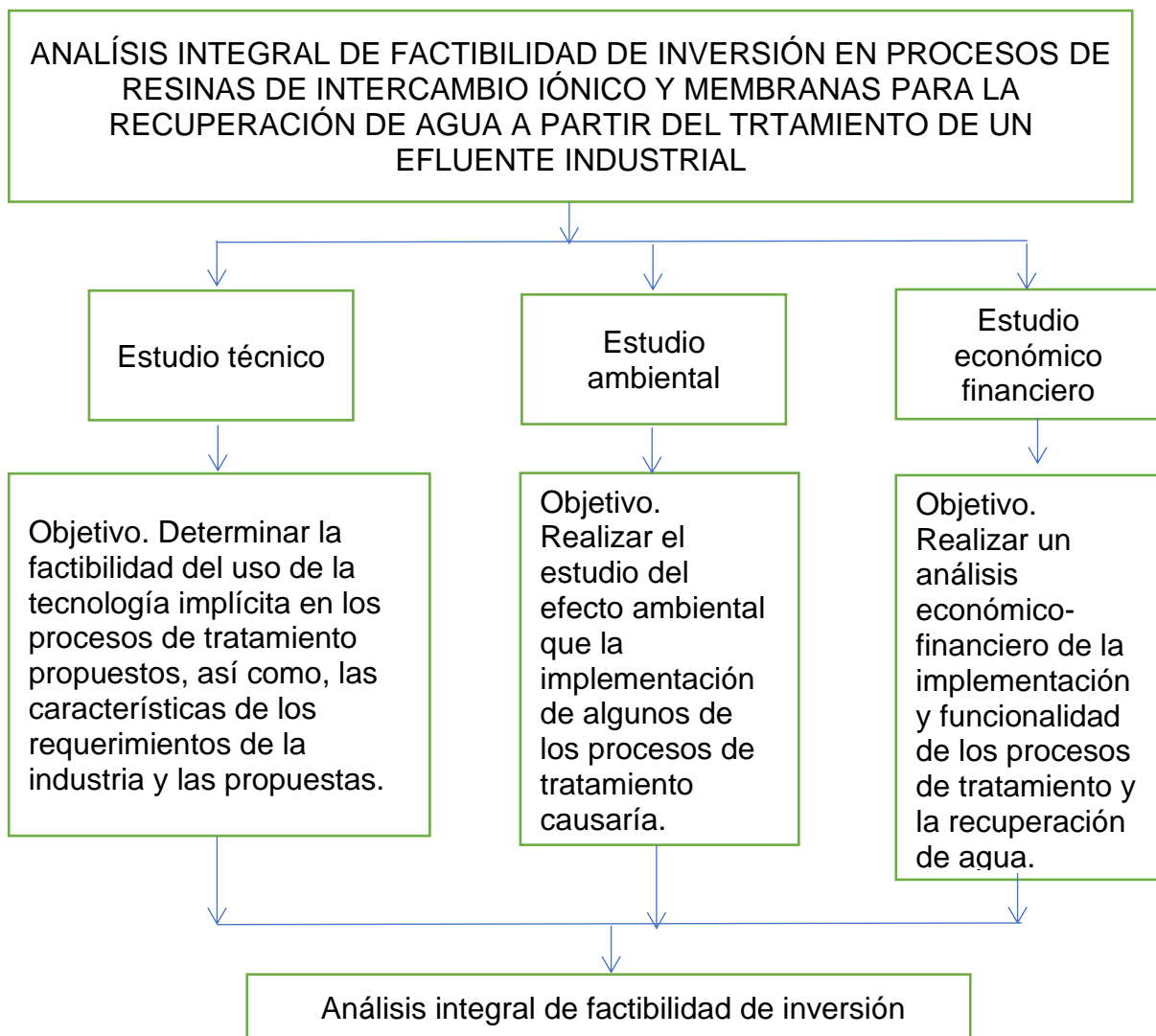


Figura 2.1 Diagrama de las etapas de la metodología de investigación

2.1 Descripción del proyecto de inversión

2.1.1 Características del efluente residual industrial

La empresa que requiere el análisis del proyecto de inversión es de orden internacional, su giro es la fabricación y comercialización de ingredientes y aditivos de origen natural y sintético para la industria de alimentos, farmacéutica y agropecuaria. Cuenta con varias empresas en el mundo, entre éstas se encuentra una ubicada en el Estado de México, México; por motivos de confidencialidad se omite el nombre de la empresa y solo se proporcionan algunos aspectos generales, a fin de tener conocimiento sobre el proyecto.

Dentro de los aditivos que fabrica y comercializa la empresa se encuentran los pigmentos sintéticos rojo 40, amarillo 5, amarillo 6 y azul 1. Los colorantes que se fabrican están dirigidos especialmente a 6 categorías, horneados, bebidas, confitería, productos lácteos, productos procesados y alimento para mascotas.

Derivado de la manufactura de los colorantes sintéticos se genera un efluente residual con residuos de colorantes, entre los que predominan el rojo 40 y amarillo 5 y 6. La producción de dichos colorantes se hace por lotes y de cada lote de producción se generan 10,000 L/día, con periodicidad de tres veces por semana. A estos resultados, se suma una baja concentración de grasas y aceites 6.1 mg/L, 26 mg/L de DBO5, ausencia de nitrógeno total y fenoles, 0.1 mg/L de sustancias activas al azul de metileno (SAAM), materia flotante ausente, 1 mL/L de sólidos sedimentables y en cuanto a metales como cadmio y níquel se encuentran ausentes y el contenido de zinc menor a lo requerido.

Con relación a otras especificaciones del efluente, éste presenta una banda de coloración máxima en 520 nm, característica de coloración roja, una banda predominante en el rango UV a 320 nm, correspondiente a la presencia de grupos azo y aromáticos y otras bandas en 170-300 nm correspondientes probablemente a grupos carbonilos cloruros y sulfatos. Lo que indica un efluente salino con alto contenido de sales inorgánicas y alta coloración roja debido a mezclas de colorantes

de tonalidad roja o predominio de un colorante rojo, provenientes de la manufactura de pigmentos sintéticos.

Bajo las condiciones mencionadas, los requerimientos de la empresa son recuperar el caudal total de agua contenida en el efluente residual para su reúso, mediante un proceso de tratamiento que se lleve a cabo con la misma periodicidad con la que se produce el efluente residual. El tratamiento debe dar como resultado un agua con calidad suficiente para su reúso.

La calidad de agua recuperada que requiere la empresa es de agua potable para reúso; por tanto, la calidad debe apegarse a la normatividad establecida en México referente a la NOM-127-SSA1-1994, la cual refiere los límites permisibles de calidad que deben cumplirse en el agua potable para uso y consumo humano.

En la tabla 2.1 se resumen los requerimientos del proyecto de inversión referido a la recuperación de agua a partir del tratamiento de un efluente industrial.

Tabla 2.1 Aspectos del efluente industrial para considerar en el proyecto de recuperación de agua.

Flujo del efluente residual generado por la industria	Frecuencia de emisión del efluente	Características fisicoquímicas destacables del efluente industrial.	Volumen requerido de agua recuperada	Frecuencia de aplicación del tratamiento del efluente	Características fisicoquímicas del agua recuperada
10,000 L/día.	En lotes, cada tercer día.	Coloración. Rojiza oscura pH.8.97 Conductividad. 42400 (µS/cm) Cloruros.14342 mg/L. Sólidos totales. 34040 mg/L.	10,000 L/día.	1. Cada tercer día. 2. Diariamente. 3. Semanalmente.	1. Agua potable de acuerdo con la NOM-127 SSA1-1994. 2. Agua tratada para reúso de acuerdo con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

2.1.2 Alternativas propuestas de tratamiento del efluente industrial

Acorde al tratamiento del efluente industrial a nivel laboratorio, las alternativas de tratamiento para recuperar el agua con características de agua potable son 1) el proceso basado en la operación de intercambio iónico mediante resinas de aniónicas y mixtas, 2) un proceso de intercambio iónico y osmosis inversa. Ambos procesos satisfacen la demanda de recuperación de agua con calidad de agua potable a partir del tratamiento del efluente descrito.

Las propuestas del proceso de recuperación de agua a partir del tratamiento del efluente industrial mediante el proceso 1 y 2 comprenden las siguientes etapas, y se describe el objetivo de cada etapa.

Alternativa 1

- 1) Filtración convencional con arena. Remoción de sólidos suspendidos
- 2) Intercambio iónico con resina aniónicas. Remoción de color
- 3) Intercambio iónico con resinas mixtas. Remoción de sales
- 4) Regeneración de las resinas y arena (cuando los materiales se saturan)

Alternativa 2

- 1) Filtración convencional con arena. Remoción de sólidos suspendidos
- 2) Intercambio iónico con resina aniónicas. Remoción de color
- 3) Osmosis inversa. Remoción de sales
- 4) Regeneración de la membrana (cuando la membrana se satura)

La regeneración de las resinas y la arena se aplica una vez que estos materiales se saturan con colorantes y sales. La regeneración se realiza empleando una solución regenerante que se intercambia por el contaminante saturado en las resinas. La solución utilizada como regenerante para las resinas aniónicas y mixtas es hidróxido de sodio y ácido clorhídrico a una concentración del 1%. Para la arena se utiliza agua potable.

En la figura 2.2 y 2.3 se presenta el diagrama que representa el proceso de recuperación de agua mediante la alternativa 1 y 2 respectivamente, indicando en cada caso las etapas del proceso.

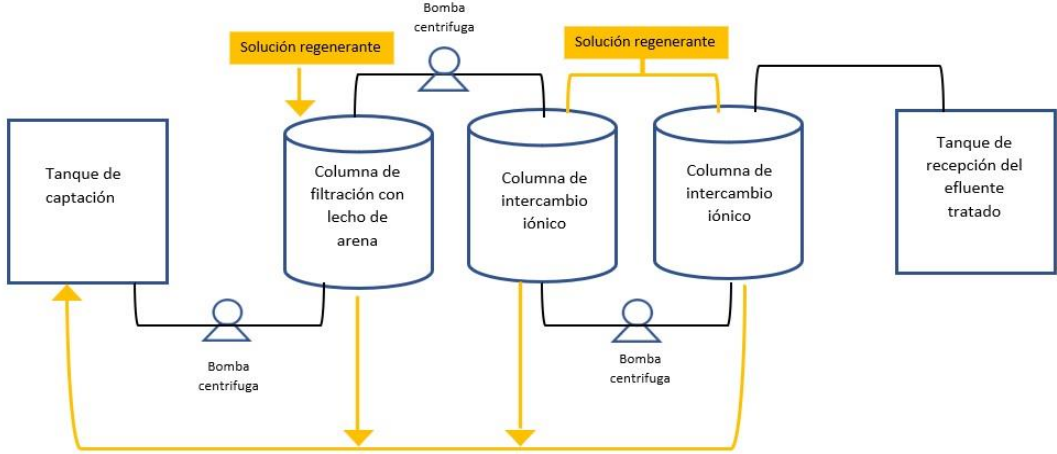


Figura 2.2 Diagrama de las etapas del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 1.

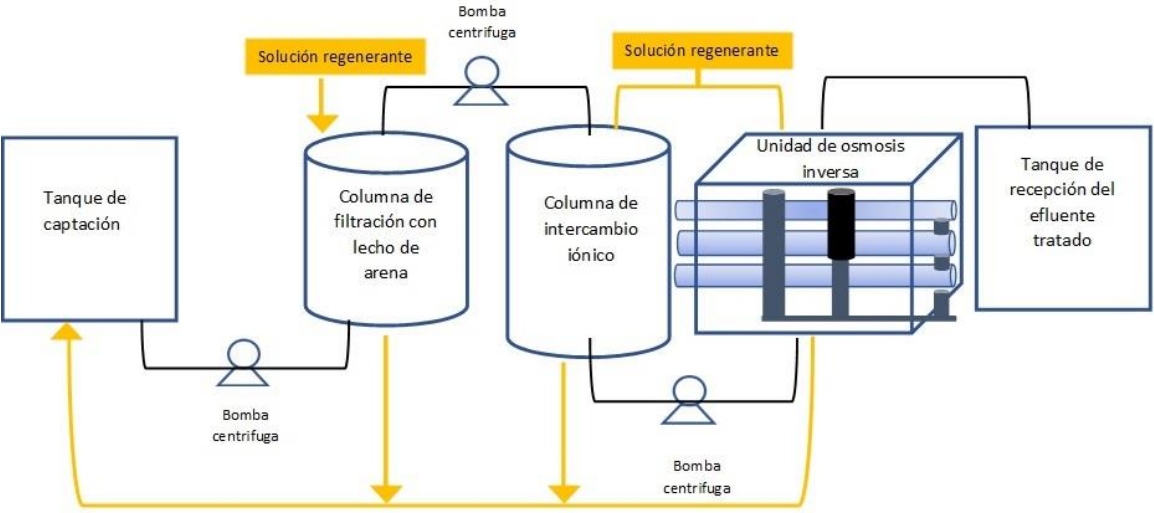


Figura 2.3 Diagrama de las etapas del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.

En la tabla 2.2 se presentan algunos de los parámetros de calidad del efluente industrial y la calidad del agua recuperada que se obtiene con el proceso de la alternativa 1 y 2. En cada caso los datos de calidad del agua recuperada se encuentran dentro de los límites requeridos en la demanda del proyecto de la empresa, así como de los límites permisibles que marca la NOM-127.

Tabla 2.2 Características de calidad del agua tratada que se obtiene a partir del efluente industrial mediante la aplicación de las alternativas 1 y 2.

Parámetros de calidad	Efluente industrial	Propuestas de calidad del agua recuperada				Requerimientos de calidad del agua recuperada	Límites permisibles de características de calidad del agua potable (mg/L)
		Etapas 1 y 2 para ambas alternativas		Alternativa 1 Etapa3	Alternativa 2 Etapa 3		
		Filtración con arena	Intercambio iónico con resina aniónica	Intercambio iónico con resina mixta	Osmosis inversa	Requerimientos de la empresa	NOM-127
pH	8.97	7.85	8.5	8.3	7.7	6-9	6.5-8.5
Conductividad ($\mu\text{S/cm}$)	42 400	40 200	20 590	0.015	23.6	< 2500	N. E
Cloruros (mg/L)	14 342	14 301	6 466	1.998	No detectado	<100	250
Sólidos disueltos totales (mg/L)	34 040	31 560	13 210	217	277	< 300	1000
Sólidos suspendidos (mg/L)	2 480	0	0	0	No detectado	0	0
G y A (Grasas y Aceites)	6.1	6.1	6.1	6.1	No detectado	<10	N. E
DBO ₅ (mg/L)	26	26	26	26	No detectado	<30	N. E
Coloración roja/absorbancia a 520 nm); dilución al 50%	3.5	3.5	Incolora	Incolora	Incolora	Incolora	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
Organismos coliformes totales				<2 UFC/100 ml	>2 UFC/100 ml		2 UFC/100 ml
Organismos coliformes fecales				< Cero UFC/100 ml	Cero UFC/100 ml		Cero UFC/100 ml

N.E = no especificado

2.2 Estudio técnico del proyecto de inversión

En el estudio técnico se definió el tamaño de la tecnología a nivel industrial, su ubicación y localización; los recursos humanos requeridos para la operatividad de la planta y la normatividad que regirá los productos obtenidos y generados durante el proceso de cada alternativa.

Dentro de la tecnología se definieron equipos requeridos y sus dimensiones, tubería, equipos auxiliares y de control a partir de los datos obtenidos de la tabla 2.3.

Para la distribución de la tecnología se analizó el acceso a la energía eléctrica, agua, vías de acceso y salida, acceso al efluente residual, acceso al agua tratada y su maniobrabilidad, así como la distancia entre ellos para lograr una correcta funcionalidad del proceso tomando en cuenta las normas ISO 9000 para calidad e ISO 41001 para diseño de planta, y normas estándar de espacio preestablecidas en la NOM-031-STPS-2011.

En lo que se refiere a la organización de puestos humanos para supervisar el proceso, se estableció un organigrama para la correcta operación de cada etapa del proceso.

En el marco jurídico del proyecto se investigaron y analizaron las distintas normatividades y leyes que intervienen en la realización, control y verificación del proyecto, en específico leyes y normas que rigen el agua tratada, tales como la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público. La NOM-127-SSA1-1994 que establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional. Entre otras como NOM-004-SEMARNAT-2002, NOM-001-ECOL-1996 (06/ENE/97), ISO 41001, NOM-002-ECOL-1996 (03/JUN/98).

Tabla 2.3 Propuesta del proceso a nivel laboratorio para recuperación de agua a partir del tratamiento del efluente industrial utilizando las alternativas 1 y 2.

Alternativa de tratamiento del efluente	Etapas del proceso de tratamiento	Equipos y dimensiones de equipo	Condiciones de operación	Insumos. Materiales y reactivos	Propuesta (caudal tratado)	Calidad del agua tratada
	Filtración con arena	Columna de vidrio con válvula para regular flujo de salida Diámetro. 60 mm Altura. 300 mm. Soporte universal y pinza de tres dedos para sujetar la columna Bomba de alimentación	Hidratación de la resina con agua potable por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 0.04 L/h.	Volumen de lecho de arena 40 mL 50 mL de agua potable para hidratación 50 mL para lavado de arena	0.25 L/h	Efluente libre de SS y SD
	Intercambio iónico con resina aniónica y proceso de regeneración	Columna de vidrio con válvula para regular flujo de salida Diámetro.60 mm Altura. 300 mm. Soporte universal y pinza de tres dedos para sujetar la columna Bomba de alimentación	Hidratación de la resina con agua desionizada por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 0.04 L/h.	Volumen de lecho de resina 40 mL. 50 mL de agua desionizada para hidratación 50 mL de agua potable para lavado de resina 250 mL de solución regenerante de HCl al 1%	0.25 L/h	Efluente libre de color y sales Calidad de agua de reuso de acuerdo con NOM-003
Proceso de resinas de intercambio iónico (Alternativa 1)	Intercambio iónico con resina mixta y proceso de regeneración	Columna de vidrio con válvula para regular flujo de salida Diámetro.60 mm Altura. 300 mm. Soporte universal y pinza de tres dedos para sujetar la columna Bomba de alimentación	Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 0.04 L/h.	Lecho de 40 mL de resina. 50 mL de agua desionizada para hidratación 50 mL de agua potable para lavado 250 mL de solución regenerante de HCl al 1%	0.25 L/h	Efluente libre de sales. Calidad de agua potable de acuerdo con NOM-127
Proceso de tratamiento con resinas de intercambio iónico y osmosis inversa (alternativa 2)	Osmosis inversa y proceso de regeneración de la membrana	Base de cuatro puntos y pinzas para soporte de las unidades de osmosis inversa	Lavado de la membrana con agua potable a temperatura ambiente. Flujo de 120 ml/min	Purificador de osmosis inversa rotoplas T01-02. 80 ml de agua potable para lavado de la membrana	7.2 L/h	Efluente libre de sales Calidad de agua de reuso de acuerdo con NOM-127

2.3 Estudio del efecto ambiental del proyecto de inversión

Para realizar el estudio del efecto ambiental que causaría la implementación de los procesos de tratamiento propuestos para la recuperación de agua se identificaron y evaluaron las actividades involucradas, tales como, residuos, consumo de agua y consumo de energía que pudieran afectar al ambiente.

Como guía de evaluación del efecto ambiental se siguió lo establecido en el método Ihobe (2009), adecuándolo a la industria que se evalúa para realizar el estudio.

En la evaluación se consideraron condiciones normales de operación de los procesos de tratamiento, incidentes y accidentes o situaciones de emergencia, tomando en cuenta magnitud, peligrosidad, límites de referencia, sensibilidad al medio y regulación.

Las áreas de incidencia se establecieron de acuerdo con las actividades que causan un efecto ambiental, se indicó una ponderación cuantitativa de acuerdo con los criterios descritos en las tablas 1.8-1.15 del apartado de Fundamentos, a fin de establecer una calificación cuantitativa global de las actividades.

Finalmente, en base al total de los criterios evaluados se determinó en forma cuantitativa el efecto ambiental del proyecto mediante la ecuación (1) y se estableció una calificación cualitativa de acuerdo con los datos de la tabla 1.15 establecida en la sección de Fundamentos.

2.4 Estudio económico-financiero del proyecto de inversión

En este estudio se realizó una evaluación económica-financiera del proyecto de inversión, valorando su factibilidad económica mediante la determinación de la inversión necesaria para llevar a cabo el proyecto, el tiempo para alcanzar el punto de equilibrio y la rentabilidad del proyecto. El estudio se realizó siguiendo la estructura para análisis económico-financiero (Baca, 2001).

Para realizar el estudio financiero se tomaron los datos recabados en el estudio técnico de todas las adquisiciones de instrumentos, materiales e insumos y se realizó la investigación del costo con diferentes proveedores, así también, los costos de envío, los gastos de instalación, los gastos acarreados por operación.

Se realizó un análisis de los gastos fijos y gastos variables con respecto a los ingresos de la recuperación de agua del proyecto para determinar el punto de equilibrio y evaluar la rentabilidad del proyecto y el tiempo en que se obtienen beneficios financieros, para el punto de equilibrio se usó la ecuación (2) y se calculó el valor actual neto (VAN) con la ecuación (3), ambas del apartado de fundamentos para determinar si la inversión cumple con el objetivo básico financiero de maximizarla.

Finalmente, se calculó el periodo de recuperación de inversión conforme a lo estipulado en el apartado de fundamentos que indica en que tiempo se recupera la inversión inicial para tener una noción de cuánto tiempo tardará el proyecto en ser rentable económicamente.

3 RESULTADOS

3.1 Estudio técnico del proyecto de inversión para la recuperación de agua mediante la alternativa 1

3.1.1 Características de la tecnología e insumos requeridos a nivel industrial

El equipo técnico del proyecto de recuperación de agua mediante el tratamiento del efluente utilizando la alternativa 1 comprende una unidad de filtración con arena y dos unidades de intercambio iónico, una empacada con resina aniónicas y otra con resina mixta.

En la tabla 3.1 se muestran la descripción del equipo técnico propuesto a nivel industrial, acorde a los requerimientos de la empresa, incluyendo dimensiones, capacidades, insumos y superficie requerida para su ubicación.

Colocar aquí tabla 3.1 solo con la parte de nivel industrial

En la tabla 3.2 se presentan datos de las características de la arena y resinas requeridas costos de los insumos a escala laboratorio e industrial de acuerdo con la periodicidad de su uso que se requieren en el proceso para la recuperación de agua con la alternativa 1.

En la tabla 3.3 se presenta las unidades de proceso requeridas para el tratamiento y recuperación de agua, así como las características y superficie que ocupan las unidades para su implementación a nivel industrial.

Tabla 3.1 Propuesta del proceso para recuperación de agua mediante la alternativa 1 (resinas de intercambio iónico) a novel industrial

Alternativa de tratamiento del efluente	Etapas del proceso de tratamiento	Dimensiones de equipo	Condiciones de operación	Insumos. Materiales y reactivos	Propuesta (caudal tratado)	Calidad del agua tratada
Proceso de resinas de intercambio iónico (Alternativa 1)	Filtración con arena	2 columnas con válvula para regular la salida Diámetro. 0.4 m Altura 1.125 m	Hidratación de la resina con agua potable por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 1 L/h.	Volumen de lecho de arena 100 L 150 L de agua potable para hidratación 150 L de agua para lavado de arena	200 L/h	Efluente libre de SS y SD
	Intercambio iónico con resina aniónica y proceso de regeneración	4 columnas con válvula para regular la salida. Diámetro. 0.4 m. Altura 1.125 m	Hidratación de la resina con agua potable por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 1 L/h.	Volumen de lecho de resina 100 L. 150 L de agua desionizada para hidratación 150 L de agua potable para lavado de resina 450 L de solución regenerante de HCl al 1%	200 L/h	Efluente libre de color y sales Calidad de agua de reúso de acuerdo con NOM-003
	Intercambio iónico con resina mixta y proceso de regeneración	4 columnas con válvula para regular la salida. Diámetro. 0.4 m. Altura 1.125 m	Hidratación de la resina con agua potable por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 1 L/h.	Volumen de lecho de resina 100 L. 150 L de agua desionizada para hidratación 150 L de agua potable para lavado de resina 450 L de solución regenerante de HCl al 1%	200 L/h	Efluente libre de sales. Calidad de agua potable de acuerdo con NOM-127

Tabla 3.2 Características fisicoquímicas de los insumos y los volúmenes requeridos para el proceso de tratamiento del efluente a nivel industrial mediante alternativa 1

Insumos requeridos en el proceso de intercambio iónico	Características fisicoquímicas de los insumos	Especificaciones requeridas de los insumos	Carga requerida de los insumos	Frecuencia de uso de los insumos (mensual)
Etapa 1. Tratamiento previo. Filtración del efluente con arena	Composición química de la arena.	99.86 % de SiO ₂ , 0.16 % de Al ₂ O ₃ , 30.09 % de Fe ₂ O ₃ , 0.004 % de TiO ₂ y <0.01 % Na ₂ O.	100 L de arena	Anual
			150 L de agua potable para hidratación	Anual
	Tamaño de partícula Humedad pH	0.45 y 0.55 mm 1% 7	150 L de agua para lavado	Semanal
Etapa 2. Intercambio iónico mediante resinas aniónicas y su regeneración	Aspecto físico	Perlas esféricas color blanco	150 L de resina	Anual
	Forma iónica	OH ⁻		
	Tamaño de criba	Criba estándar EUA, malla 16-40	150 L de agua potable para hidratación	Semanal
	Rango de pH	0-7	150 L de agua para lavado	Semanal
	Temperatura max de operación	35°C	450 L de solución regenerante 1% de HCl	Semanal
Capacidad de flujo de operación	40 – 56 L/h			
Etapa 3. Intercambio iónico mediante resinas mixtas y su regeneración	Aspecto Físico	Perlas esféricas color ámbar	150 L de resina	Anual
	Forma Iónica	H ⁺ /OH ⁻		
	Tamaño de Criba	Criba estándar EUA, malla 10-12	150 L de agua potable para hidratación	Semanal
	Rango de pH	0 a 14	150 L de agua para lavado	Semanal
	Temperatura Máx de Operación	60 °C	300 L de cada solución regenerante 1% de HCl y NaOH	Semanal
Capacidad de Flujo de Operación	5-7 gpm/pie ³			

Tabla 3.3 Descripción de las unidades requeridas para el proceso de recuperación de agua a nivel industrial.

Etapas del proceso de tratamiento	Instrumento, equipo e insumo requeridos	Unidades requeridas	Características del equipo del instrumento o insumo y condiciones de operación	Superficie requerida para la colocación y manejo del equipo
	Tanque de almacenamiento del efluente	1	Cap. 20,000 litros	20 m ²
Filtración con arena	Bomba centrífuga	1	RPM 1750, Voltaje Clasificado 460VCA. 2 bar de presión y un caudal de 1 m ³ /s	Superficie de 50 cm ²
	Unidad de filtración con arena	1	Flujo máximo 56 L/min, presión de funcionamiento máxima, 6 kg/cm ² , temperatura máxima 38°C, temperatura mínima 4°C, dimensión del filtro 108 mm x 254 mm	1 m ² que comprende la columna y los soportes
Intercambio iónico con resinas	Unidad de intercambio iónico	1	Tanque de fibra de vidrio con capacidad de 100 L de resina, boya de seguridad de 1 pulg., incluye válvula de medición de control.	1 m ² que comprende la columna y los soportes
	Bomba centrífuga	1	RPM 1750, Voltaje Clasificado 460VCA. 2 bar de presión y un caudal de 1 m ³ /s	Superficie de 50 cm ²
Intercambio iónico con resinas mixtas	Unidad de intercambio iónico	1	Tanque de fibra de vidrio de 9x48 con capacidad de 4 ft ³ , precargado con 1 saco de resina mixta purikor, caudal máximo 90 l/min.	Superficie de 1 m ² que comprende la columna y los soportes
	Bomba centrífuga	1	RPM 1750, Voltaje Clasificado 460VCA. 2 bar de presión y un caudal de 1 m ³ /s	Superficie de 50 cm ²
	Tanque de almacenamiento	1	Cap. 20,000 litros	Superficie de 20 m ²

3.1.2 Localización del área y ubicación de la tecnología

De acuerdo con el tamaño industrial requerido, el área de los equipos y su distribución ocupan una superficie de 174 m², la cual puede localizarse en un área designada por la empresa y dentro de sus instalaciones.

Según la información proporcionada por la industria de la cual se realizó el estudio del proyecto, la macrolocalización (ubicación) del área de proceso para la recuperación de agua se proyecta en la siguiente dirección postal. Calle Rodolfo

patrón, #12, int. 0, parque industrial Lerma, Lerma de villada, Lerma, estado de México, México, cp: 52000.

En la figura 3.1 se muestra un mapa donde se indica la ubicación de la dirección proporcionada.

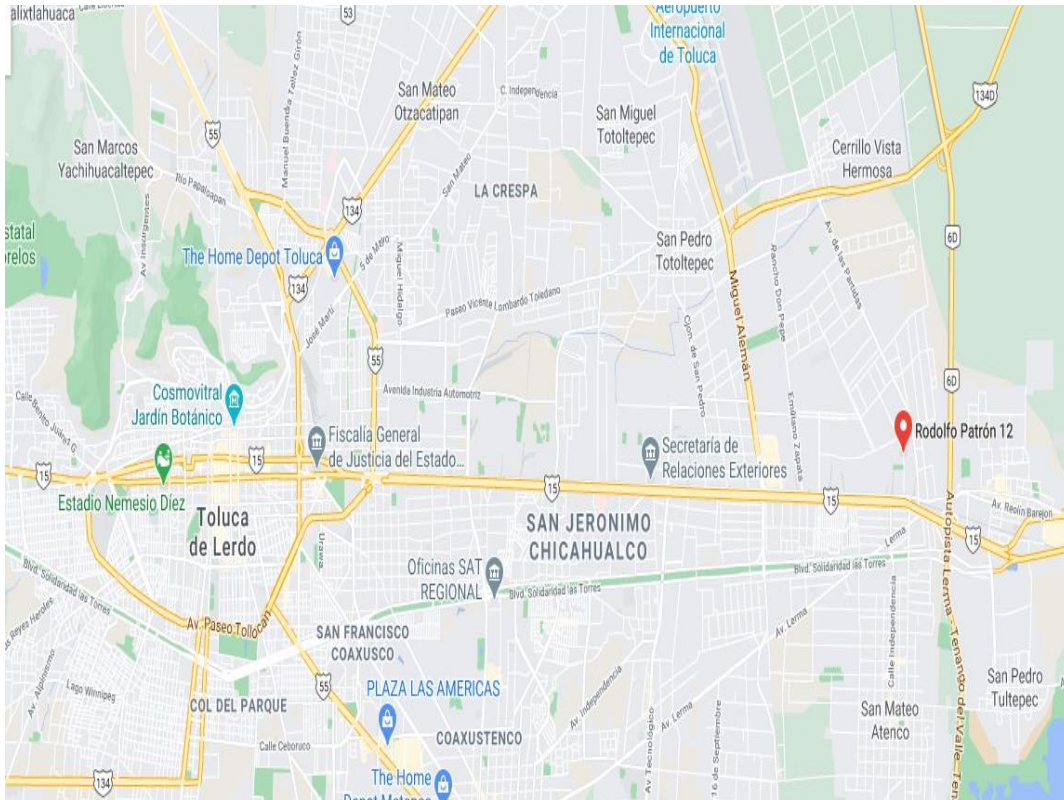


Figura 3.1 Mapa de macrolocalización del área del proyecto de recuperación de agua.

Con respecto a la microlocalización de la tecnología referida al proceso de recuperación de agua, en la figura 3.2 se muestra un diagrama de microlocalización del área de proceso y la distribución de los equipos incluyendo las medidas de los espacios requeridos entre los equipos e instrumentos correspondientes a la alternativa 1.

El área de proceso proyectada incluye un espacio para oficina del personal a cargo del proceso, un área de almacén y el espacio donde se ubicarán los equipos, según lo indicado en la tabla 3.5.

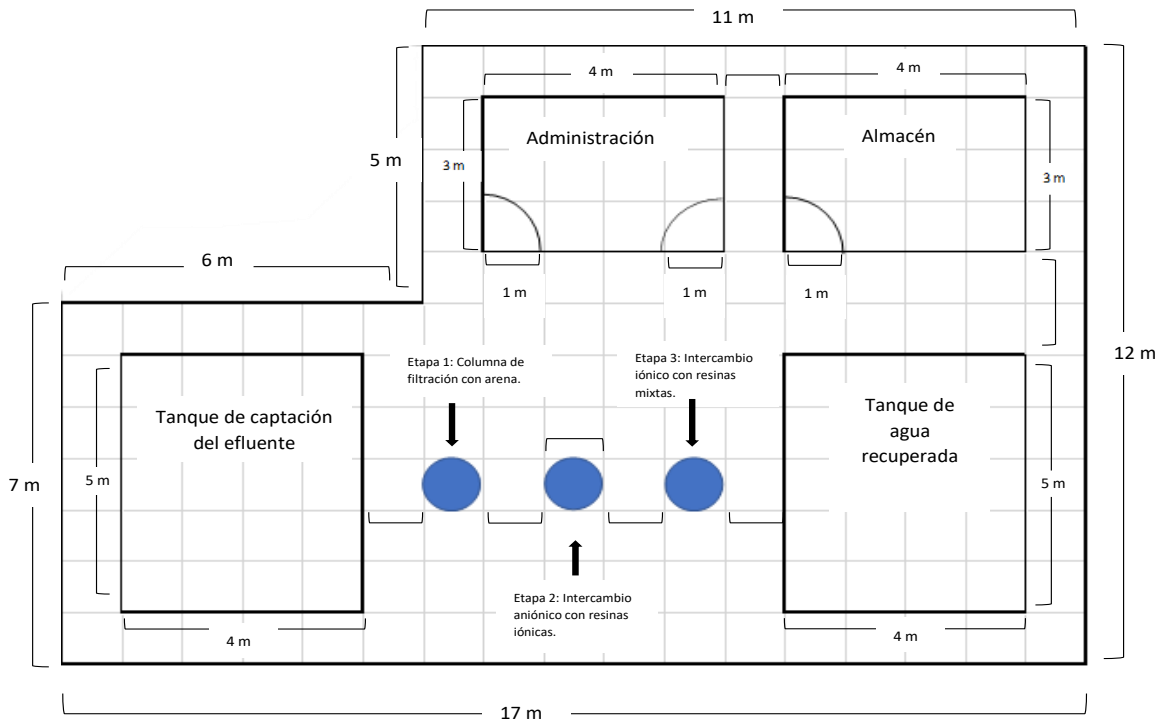


Figura 3.2 Micro localización del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 1.

En las figuras 3.3-3.5 se presentan diferentes vistas de la planta de proceso propuesto para la recuperación de agua siguiendo la alternativa 1, y los equipos que la integran, considerando un tanque de almacenamiento, una unidad de filtración y dos unidades de resinas de intercambio iónico. Las vistas fueron obtenidas del programa Autocad, considerando el tamaño de la planta y el marco jurídico para la distribución correcta de la tecnología como lo indica la NOM-031-STPS-2011 y la ISO 41001 para las mejores prácticas de gestión de instalaciones.

La columna de la izquierda representa el equipo de filtración y las siguientes corresponde a las columnas de resina aniónica y mixta.

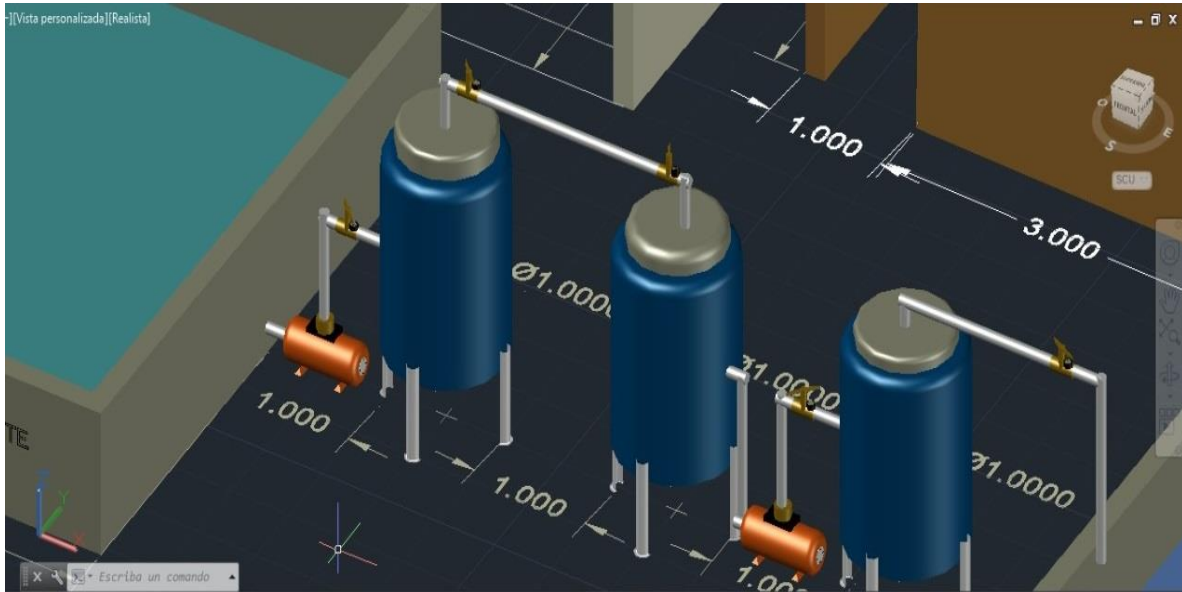


Figura 3.3 Vista frontal de las columnas de filtración y de resinas de intercambio iónico que conforman la planta propuesta para recuperación de agua mediante la alternativa 1.

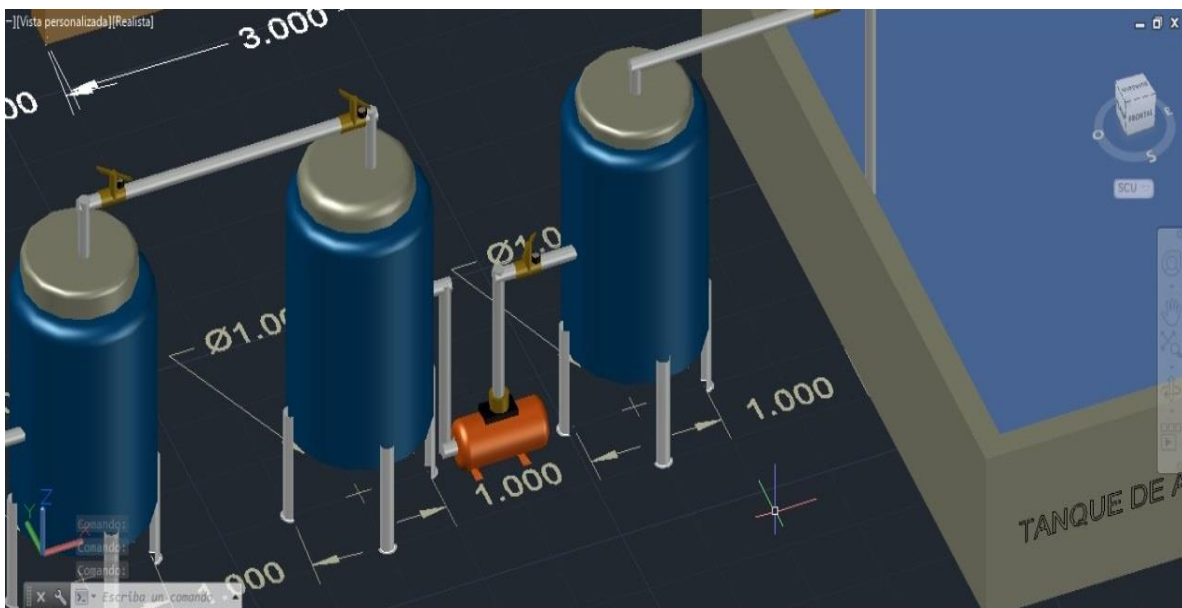


Figura 3.4 Vista posterior de la planta de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico

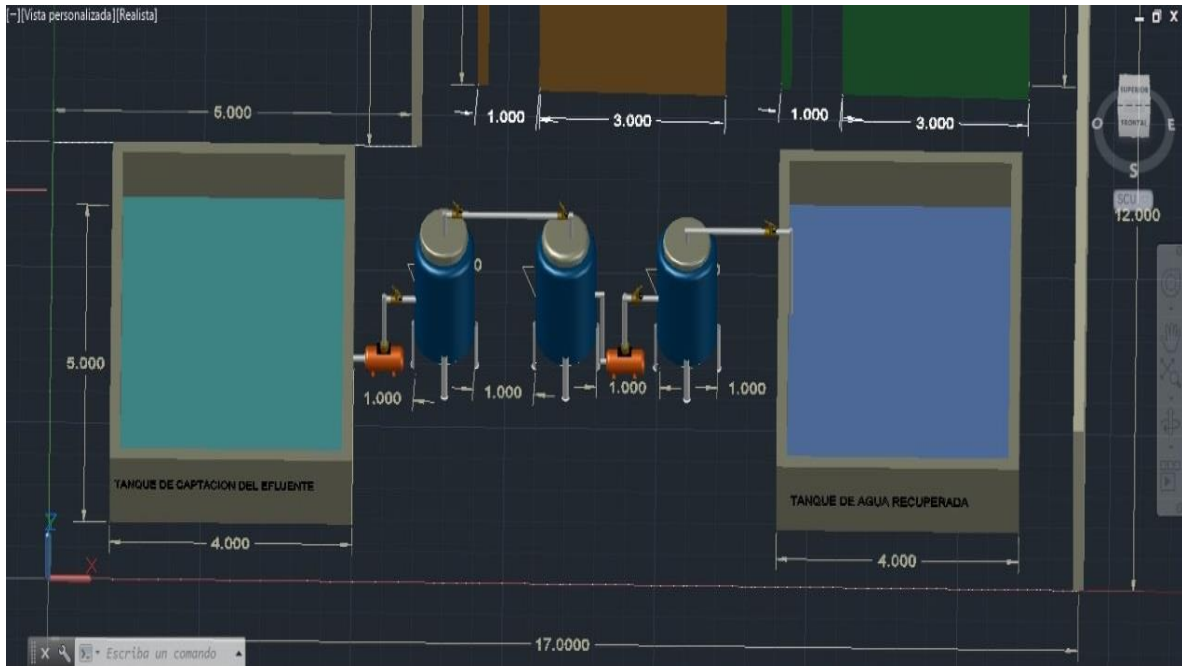


Figura 3.5 Vista desde arriba de la distribución de planta del proceso propuesto de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico.

3.1.3 Organización del personal requerido para el proceso

Con la información obtenida de las unidades, instrumentos e instalaciones requeridas para la ejecución del proceso de recuperación de agua, se estableció que el número de personal idóneo para la supervisión y operatividad del proceso es de 6 personas, las cuales se distribuyen en distintos puestos como se muestra en el organigrama de la figura 3.6.

El puesto 1 corresponde al ingeniero ambiental quien es el encargado del correcto funcionamiento del proceso en el control y apego a las normatividades que intervienen en el marco jurídico del proyecto, así como, la máxima autoridad dentro de la planta de tratamiento. El puesto 2 corresponde al responsable de planta quien es el encargado del correcto funcionamiento operacional del proceso y del manejo correcto de la tecnología, equipos e instrumentos en el centro de operaciones, además de, realizar actividades encomendadas por el ingeniero ambiental.

El operario corresponde al puesto 3, el cual opera de manera directa el proceso de recuperación de agua, quien interactúa de manera directa y constante con el equipo, tecnología, insumos y herramientas para el correcto funcionamiento de cada una de las etapas del proceso. El encargado de suministros es quien está a cargo de los insumos necesarios que se requieren con cierta periodicidad para cada actividad a realizar.

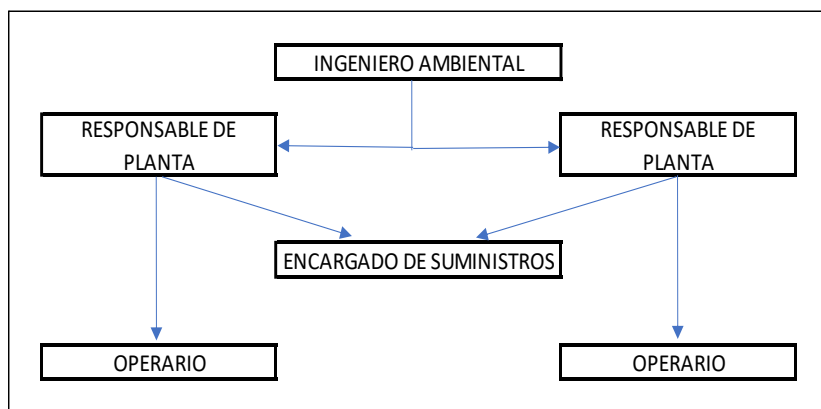


Figura 3.6 Diagrama de puestos para el proceso de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico.

3.1.4 Normatividad en el proceso de recuperación de agua

En la tabla 3.4 se indican las normas que determinan los lineamientos que rigen la implementación del proceso de recuperación de agua, así como las de funcionamiento.

Entre las normas consideradas fueron la NOM-127 que rige la calidad de agua potable, lo cual se relaciona con la calidad del agua recuperada; la NOM-001-002 que corresponde a la calidad de agua de descarga en alcantarillado y cuerpos de agua; NOM-003 que establece la calidad de agua tratada que debe considerarse para reúso.

Tabla 3.4 Normatividad requerida en el proceso de recuperación de agua mediante la alternativa 1.

Normas	Descripción
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-ECOL-1997	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.
NOM-004-SEMARNAT-2002	Establece las especificaciones y los límites máximos permisibles de contaminantes en los lodos y biosólidos provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado urbano o municipal, de las plantas potabilizadoras y de las plantas de tratamiento de aguas residuales
NOM-127-SSA1-1994	Establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.
NOM-001-ECOL-1996 (06/ENE/97)	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. Aclaración 30-abril-1997.
ISO 45001	Norma internacional para sistemas de gestión de seguridad y salud en el trabajo, destinada a proteger a los trabajadores y visitantes de accidentes y enfermedades laborales.
NOM-002-ECOL-1996 (03/JUN/98)	Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
ISO 14000	El objetivo de la norma es reducir la huella medioambiental de un negocio y para disminuir la contaminación y los residuos que produce una empresa.
ISO 41001	Establece que las mejores prácticas de gestión de instalaciones.
NOM-031-STPS-2011	Construcción-Condiciones de seguridad y salud en el trabajo.

Bajo los resultados obtenidos en el estudio técnico se concluye que la alternativa 1 tiene una alta factibilidad de implementación a nivel industrial ya que es posible contar con la tecnología requerida, puesto que se encuentra disponible comercialmente. También se cuenta con el espacio adecuado para distribuir la tecnología y el personal encargado del proceso no requiere de largas horas de capacitación. En cuanto a la normatividad que rige la recuperación de agua, el agua recuperada y los residuos generados pueden cumplir con las NOMs establecidas en el país donde se implementará el proceso.

3.2 Estudio ambiental del proyecto de inversión para la recuperación de agua mediante la alternativa 1

3.2.1 Identificación de las áreas de afectación y efecto de las actividades

En la tabla 3.5 se muestran los datos que conforman la matriz de identificación de las áreas de afectación y relación causa efecto derivadas de la identificación de las actividades de los procesos de tratamiento para recuperación de agua aplicando un proceso de intercambio iónico con resinas.

Los datos de la tabla 3.5 muestran que la relación causa efecto de las etapas que comprende el proceso de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico es simple ya sea en causas con frecuencia semanal o anual.

En la tabla 3.6 se indica el impacto ambiental ocasionado por la implementación del proceso se determinó un impacto bajo que se interpreta como no dañino al medio ambiente y con ventajas positivas debido a la recuperación de agua.

Tomando como base la ponderación establecida en el método Ihohe (2009), se establece que el efecto ambiental derivado de las actividades implícitas en el proceso de tratamiento de intercambio iónico para la recuperación de agua es viable ambientalmente, debido a que el efecto del proyecto dio como resultado cuantitativo un valor de 1.13; determinando que el proyecto tiene un efecto ambiental bajo, ya que el resultado (R) se encuentra en el rango $1 \leq R < 1.5$.

Bajo el resultado obtenido, se establece que el proyecto de recuperación de agua mediante el tratamiento del efluente industrial con la alternativa 1, es viable ambientalmente.

Tabla 3.5 Matriz de identificación de áreas de incidencia y actividades que causan un efecto derivadas del proceso de tratamiento para recuperación de agua correspondiente a la alternativa 1.

Proceso de resinas de intercambio iónico	Efecto o consecuencia negativa del proceso de tratamiento				Tipo de efecto Relación (causa/efecto)
	Entrada	Operación	Salida (efecto)	Frecuencia del efecto	
Filtración con arena para el proceso de resinas de intercambio iónico.	Arena	Retención de sólidos	Arena saturada	Anual	Simple
	Efluente residual		Lodos	Semanal	Simple
	Agua para lavado de arena	Lavado de arena	Efluente de lavado de arena	Semanal	Simple
Remoción del color del efluente con resina aniónica para el proceso de resinas.	Efluente residual	Intercambio iónico	Residuos de resinas (al final de su vida útil)	6 meses	Simple
Remoción de sales del efluente con resina mixta.	Efluente residual	Intercambio iónico	Residuos de resinas (al final de su vida útil)	6 meses	Simple
Regeneración de resinas (aniónicas y mixtas) para el proceso de intercambio.	Solución regenerante (HCl y NaOH al 1%)	Regeneración de resinas saturadas con colorantes y sales	Efluente residual contaminado con colorantes	Semanal	Simple
	Agua para lavado de resinas		Agua residual contaminado con sales	Semanal	Simple

Tabla 3.6 Matriz concentrada para la evaluación del efecto ambiental la adecuada para el proyecto de recuperación de agua a partir de un efluente de la industria alimenticia correspondiente a la alternativa 1.

PROCESO DE RESINAS	EFECTO O CONSECUENCIA			EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LOS EFECTOS EN CONDICIONES NORMALES Y ANORMALES					EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LOS EFECTOS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA				
	Actividad (causa o aspecto ambiental)	Entrada	Operación	Salida (efecto)	Magnitud	Peligrosidad	Límites de referencia	Sensibilidad al medio	Regulación	Probabilidad	Extensión	Peligrosidad	Sensibilidad al medio
Filtración con arena	Arena	Retención de solidos	Arena saturada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	Efluente residual		Lodos	1	1	2	1	3	1	1	1	2	13
	Agua para lavado de arena	Lavado de arena	Efluente de lavado de arena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Remoción del color del efluente residual con resinas aniónicas	Efluente residual	Intercambio iónico	Residuos de resinas (al final de su vida útil)	1	1	1	2	1	1	1	1	2	11
Remoción de sales del efluente residual con resinas mixtas	Efluente residual	Intercambio iónico	Residuos de resinas (al final de su vida útil)	1	1	1	2	1	1	1	1	2	11
Regeneración de resinas (aniónicas y mixtas)	Solución regenerante (hidróxido de sodio y ácido clorhídrico al 1%)	Regeneración de resinas saturadas con colorantes y sales	Efluente residual contaminado con colorantes	1	1	1	1	3	2	1	1	2	13
	Agua para lavado de resinas		Efluente residual contaminado con sales	1	1	1	1	3	2	1	1	2	13
Calificación cuantitativa total de los criterios				7	7	8	9	13	9	7	7	12	90 79

3.3 Estudio económico-financiero del proyecto de inversión de recuperación de agua a partir del tratamiento de un efluente industrial mediante la alternativa 1

En los resultados de este estudio se presenta la viabilidad económica-financiera del proyecto de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico.

En la tabla 3.7 se presenta la inversión fija total del proyecto, los costos de la tecnología requerida y los instrumentos necesarios para el tratamiento del efluente industrial.

En la tabla 3.8 se presenta los conceptos que conforman la inversión diferida y el capital de trabajo para el proyecto.

Tabla 3.7 Inversión fija y costos de la tecnología e instrumentos requeridos para la recuperación de agua mediante el tratamiento del efluente industrial con la alternativa 1.

Presupuesto de inversiones en activos fijos			
Detalle	Proveedor	Costo parcial	Costo total
Obra civil			
Adquisición de tanque de captación para agua residual cap. 20,000 L.	Rotoplas	\$37,000.00	\$37,000.00
Adquisición de tanque de captación para agua tratada cap. 20,000 L.	Rotoplas	\$37,000.00	\$37,000.00
Otros gastos de construcción		\$50,000.00	\$50,000.00
Equipos			
Unidad de filtración con arena	Hidroclean	\$36,257.00	\$36,257.00
Unidad de intercambio iónico de resinas aniónicas	TodoAgua	\$23,298.39	\$23,298.39
Unidad de intercambio iónico de resinas mixtas	Purikor	\$20,960.00	\$20,960.00
Bomba centrífuga		\$46,475.00	\$139,425.00
Tubería, válvulas, sistemas de medición y control	TodoAgua	\$100,000.00	\$100,000.00
Sub total		\$393,940.39	\$443,940.39
Imprevistos (5%)		\$19,697.01	\$22,197.01
Total inversión activos fijos			\$466,137.4

En la tabla 3.7 se describe la inversión fija que corresponde a la obra civil y equipos con tiempo de vida útil mayor a 18 meses como lo describe Joaquín Moreno en su libro contabilidad de sociedades del año 2014.

Tabla 3.8 Inversión diferida y capital de trabajo para el proyecto tratamiento de un efluente

Presupuesto de inversiones diferidas	
Detalle	Valor
Gastos de instalación	\$10,000.00
Pago de permisos para la construcción	\$1,600.00
Sub total	\$11,600.00
Imprevistos (5%)	\$580.00
Total inversión diferida	\$12,180.00
Capital de trabajo	
Detalle	Costos y Gastos Anuales
Costos de insumos y servicios directos	\$20,000.00
Materia prima	\$42,100.00
Mano de obra	\$138,019.00
Sub total	\$200,119.00
Imprevistos (5%)	\$10,005.95
Capital de Trabajo	\$210,124.95

En la tabla 3.9 se muestra la inversión total que está conformada por inversión fija, inversión diferida, capital de trabajo y el 5% más del total para imprevistos que se requieran el proyecto de recuperación de agua a partir de un efluente residual de una industria de alimentos mediante un proceso de resinas de intercambio iónico, resultando de \$722,863.47.

En la tabla 3.10 se presenta el ahorro proyectado y costo actual a 5 años por consumo de agua potable y por disposición y tratamiento del efluente industrial, sin considerar la propuesta de tratamiento para recuperación de agua a través del tratamiento mediante resinas de intercambio iónico, lo que indica que una vez implementado el proceso de tratamiento la industria tendría ahorros por conceptos

de traslado de agua a un centro de tratamiento y el ahorro de sanciones por incumplimientos en las estipulaciones para el traslado de su efluente residual.

En la tabla 3.11 se muestra el punto de equilibrio del proyecto de recuperación de agua a través del tratamiento mediante resinas de intercambio iónico expresado en miles de m³ de agua tratada, considerando 5 años de operaciones.

Para efectos de factibilidad operacional el punto de equilibrio indica la meta para alcanzar la rentabilidad, mostrando el punto donde lo invertido en cada año se recupera y lo producido después de ese punto se considera ganancia.

En la tabla 3.12 tabla se expresan los gastos diarios que se presentan para el correcto funcionamiento de la planta y lo que el proceso de resinas de intercambio iónico debe de tratar diariamente para alcanzar el punto de equilibrio.

Lo expresado en las tablas anteriores indica que el proceso de resinas de intercambio iónico es factible económicamente puesto que tiene un punto de equilibrio cercano considerado una inversión a corto plazo.

Tabla 3.9 Inversión total del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 1.

Concepto	Valor del proceso de tratamiento con alternativa 1
Inversión fija	\$466,137.4095
Inversión diferida	\$12,180.00
Capital de trabajo	\$210,124.95
Subtotal	\$688,441.4
Imprevistos	\$34,422.07
Inversión total	\$722,863.47

Tabla 3.10 Costo actual y proyectado por consumo de agua potable y por disposición y tratamiento del efluente industrial, sin considerar la propuesta de tratamiento.

	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5
Caudal de efluentes industriales generados o consumo de agua potable	16,000 m ³	17,600 m ³	19,360 m ³	21,296 m ³	23,425 m ³
Costo que se paga por metro cubico de agua potable consumida en el estado de México (año 2020 \$12.03)	\$192,480.00	\$211,728.00	\$232,900.80	\$256,190.88	\$281,802.75
Costo que se paga por traslado y tratamiento del efluente en una planta externa	\$2,000,000	\$2,500,000.00	\$3,000,000	\$3,500,000	\$4,000,000
Costo por pago de sanciones por parámetros exentos	\$160,000.00	\$176,000.00	\$193,600.00	\$212,960.00	\$234,250.00
Costos/año	\$4,352,480.00	\$4,887,728.00	\$3,426,500.80	\$3,969,150.88	\$4,516,502.75

Tabla 3.11 Punto de equilibrio financiero del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 1.

Año	2020	2021	2022	2023	2024
Concepto					
Costo actual y proyectado por consumo de agua potable, disposición, tratamiento y sanciones en el tratamiento del efluente industrial	\$4,352,480.00	\$4,887,728.00	\$3,426,500.80	\$3,969,150.88	\$4,516,502.75
Costos fijos derivados del tratamiento del efluente con la alternativa 1					
Honorarios	\$138,019.00	\$138,019.00	\$138,019.00	\$138,019.00	\$138,019.00
Depreciación	\$42,365.00	\$42,365.00	\$42,365.00	\$42,365.00	\$42,365.00
Amortización	\$1,996.00	\$1,996.00	\$1,996.00	\$1,996.00	\$1,996.00
Total	\$182,380	\$182,380	\$182,380	\$182,380	\$182,380
Costos variables derivados del proceso de tratamiento con la alternativa 1					
Materia prima	\$00.00	\$42,100.00	\$42,100.00	\$42,100.00	\$42,100.00
Insumos	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00	\$20,000.00
Gastos externos	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3,000.00	\$3,000.00
Total	\$23,00.00	\$63,100.00	\$63,100.00	\$63,100.00	\$63,100.00
Costo total del proceso de tratamiento del efluente industrial con la alternativa 1	\$205,380.00	\$245,480.00	\$245,480.00	\$245,480.00	\$245,480.00
Fórmula: Punto de Equilibrio= (AT=CT) Donde: CF= Costos Fijos CV= Costos Variables CF+CV= CT AT= Ahorro Totales	=17072 m³ de agua tratada	=20405 m³ de agua tratada	=20405 m³ de agua tratada	=20405 m³ de agua tratada	=20405 m³ de agua tratada

Tabla 3.12 Gastos que incurren y lo que el proceso trata a diario para alcanzar el punto de equilibrio

Determinación de la producción diaria para alcanzar el punto de equilibrio						
Proceso: resinas de intercambio iónico						
Una empresa que pretende ahorrar agua para sus procesos mediante el tratamiento de sus aguas residuales con un proceso de tratamiento físico-químico.						
precio del m ³ de agua potable	\$12.03	Por m ³				
1) Determinación de los ingresos diarios para alcanzar el punto de equilibrio:						
Cantidad mensual ahorrada por adquisición de agua mensual:				\$16,040.00		
Ahorro mensual que la empresa por ahorro de cuotas, traslado y ahorro de agua mensual:				\$369,196.00		
Ingreso diario que la empresa debe obtener diario:						\$12,306.00
2) Determinación de los salarios que deben pagarse:						
No. de trabajadores:				6		
Salario mensual:				\$2,874.00		
Salario mensual que la empresa debe proporcionar:				\$11,496.00		
Salario diario que la empresa debe proporcionar:						\$383.3
3) Determinación de los gastos en:						
			Mensual:		Diario:	
Energía eléctrica				\$20,000.00	\$666.66	
Agua				\$00.00	\$00.00	
Teléfono				\$580.00	\$19.33	
Internet				\$580.00	\$19.33	
Total						\$705.32
4) Determinación de la producción preliminar:						
Suma de gastos mínimos por día= Ingresos mínimos por día:						\$14,206.95
Dado que Ingreso = p * q, se deduce que q (cantidad mínima a producir) = Ingreso / precio =						1,180.96/m ³
5) Determinación del monto de materias primas e insumos básicos para obtener la producción preliminar:						
Materia prima		Mensual: \$3,580.00		Diario: \$119.33		
Insumos requeridos		Mensual: \$1,666.66		Diario: \$55.55		14.33 m ³
6) Determinación del monto de ingresos totales mínimos requeridos:						
		Suma de gastos mínimos:				180.96 m ³
		Suma de materias primas:				14.33 m ³
		Total de erogaciones:				194.33 m ³
		Metros cúbicos tratados diariamente				194.33 m³

3.3.1 Valor presente neto del proyecto

El valor presente neto permitió establecer la equivalencia entre los ahorros y los gastos del proyecto de factibilidad de inversión para el tratamiento de un efluente de una industria alimenticia mediante resinas de intercambio iónico, tomando en cuenta una inversión inicial de \$722,863.47 pesos para el proceso de resinas de intercambio iónico para la realización de dicho proyecto y siguiendo la fórmula y procedimiento del apartado de metodología. El valor presente neto del proyecto tiene como resultado \$1,237,273.3 lo que indica que por cada peso invertido en el proyecto se obtiene una ganancia de \$1.71 pesos para el proceso. En términos financieros tener un VPN de 67 centavos por cada peso indica una factibilidad en la inversión, como el desarrollo de la planta de tratamientos de aguas residuales en Argentina en 2013 por Stuarth G. que presentaba un VPN de 86 centavos y que en la actualidad ha generado ahorros por más de 30 veces su inversión inicial.

3.3.2 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El periodo de recuperación de inversión indica en qué tiempo se recuperará la inversión inicial y así saber cuánto tiempo tardará el proyecto en ser rentable económicamente siguiendo la fórmula explicada en el apartado de fundamentos y tomando como inversión inicial de \$722,863.47 pesos para el proceso de resinas de intercambio iónico, con ahorro de \$22.03 pesos por m³ de agua tratado.

El periodo de recuperación de la inversión es de 61 días. Lo cual indica una alta rentabilidad financiera puesto que la inversión se recupera en menos de un año lo cual la hace sumamente atractiva y redituable.

Del análisis de la inversión fija total del proyecto de \$466,137.4. La inversión diferida de \$12,180.00 y el capital de trabajo de \$210,124.95 para el proceso con la alternativa 1. En general el estudio económico financiero muestra resultados factibles en la implementación del proceso de resinas de intercambio iónico para la recuperación de agua, el tiempo de recuperación de la inversión es a 2 meses, el

valor presente neto corresponde a un 150 % de utilidad con respecto a la inversión, el proyecto representa ahorros por \$3,629,616.57 pesos anual y un punto de equilibrio diario de volumen de agua a tratar de 194.33 m³ lo que representa un desgaste mínimo para la tecnología ya que esta adecuada para tratar 30,000 litros cada tercer día.

En la tabla 3.13 se presenta los datos del VAN y PRI para la alternativa 1, así como, la inversión inicial requerida para el proyecto y el presupuesto de ahorro con respecto al costo que se efectúa por traslado y tratamiento del efluente de manera externa.

Tabla 3.13 Concentrado del estudio económico-financiero

Datos encontrados en el análisis	Alternativa 1 de tratamiento
Inversión inicial	\$722,863.47 pesos
VAN	\$1.71 pesos
PRI	61 días
Presupuesto de ahorro	\$3,629,616.57 pesos anual
Punto de equilibrio diario de agua a tratar	194.33 m ³

3.4 Análisis de factibilidad de inversión. Proyecto de recuperación de agua. Alternativa 2.

3.4.1 Estudio técnico del proyecto de inversión

Otra de las alternativas de tratamiento para recuperar el agua con características de agua potable es el proceso basado en la operación de intercambio iónico mediante resinas aniónicas y membranas de osmosis inversa. Este proceso satisface los requerimientos de recuperación de agua.

La propuesta del proceso con la alternativa 2 de recuperación mediante resinas de intercambio iónico y membranas de osmosis inversa comprende las siguientes etapas.

- 1) Filtración convencional con arena. Remoción de sólidos suspendidos
- 2) Intercambio iónico con resina aniónicas. Remoción de color
- 3) Osmosis Inversa. Remoción de sales
- 4) Regeneración de las resinas, lavado de membranas y arena (cuando los materiales se saturan)

La primera etapa comprende una filtración con arena, la cual se aplica para la remoción de sólidos que se encuentran presentes en el efluente, esta etapa se lleva a cabo con un flujo semicontinuo utilizando columnas de vidrio que fueron empacadas con lechos de arena.

La segunda etapa se refiere al intercambio iónico con resinas aniónicas, se utiliza para la remoción de color presente en el efluente.

La tercera etapa, comprende la osmosis inversa; se utiliza para remover sales presentes en el efluente, recuperando agua limpia.

La cuarta etapa consistente en la regeneración de las resinas, el lavado de la membrana, así como de la arena y se aplica una vez que estos materiales se saturan con colorantes y sales. La regeneración se realiza empleando una solución regenerante para las resinas aniónicas que es hidróxido de sodio y ácido clorhídrico a una concentración del 1%. Para la arena se utiliza agua potable al igual para la membrana de osmosis inversa.

A través de los resultados que se han encontrado por la aplicación de esta alternativa de tratamiento, se proporciona agua recuperada con calidad de agua potable.

En la tabla 2.2 del apartado de fundamentos se presentan algunos de los parámetros de calidad del efluente industrial y la calidad del agua recuperada que se brinda con el proceso de (alternativa 2). Se observa que los datos de calidad del agua recuperada se encuentran dentro de los límites requeridos en la demanda del proyecto de la empresa, así como de los límites permisibles que marca la NOM-127. En la tabla 3.14 se muestran la descripción de la propuesta del proceso de recuperación de agua considerando los equipos e insumos requeridos con la alternativa 2 para el tratamiento del efluente industrial mediante esta alternativa a nivel industrial, acorde a los requerimientos de la empresa.

3.2.1 Equipo de proceso para la recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y osmosis inversa (alternativa 2)

El equipo técnico del proyecto de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y osmosis inversa indicó que existe viabilidad técnica para su implementación, considerando una planta de tratamiento, conformada por una unidad de filtración, una unidad de intercambio iónico empacada con resina aniónicas y un módulo de osmosis inversa para la alternativa. De acuerdo con el tamaño industrial requerido, el área de los equipos y su distribución ocupan una

superficie de 196 m² para dicha alternativa, la cual puede localizarse en un área designada por la empresa y dentro de sus instalaciones.

Para la operatividad de la planta se toma en cuenta la misma cantidad de empleados con las mismas funciones del apartado 3.1.1.4 de la alternativa 1 de recuperación de agua. Se establece la misma normatividad mexicana referida a la calidad del agua, su reúso, residuos generados y de seguridad en el trabajo que la alternativa 1 descrita en el apartado 3.1.1.5.

En la tabla 3.14 se presenta las características del equipo, instrumentación e insumos requeridos para cada una de las etapas que comprenden el proceso de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y osmosis inversa, sus especificaciones, así como la superficie que ocupan las unidades para su implementación.

Tabla 3.14 Características del equipo, instrumentación e insumos requeridos mediante la alternativa 2 (resinas de intercambio iónico y osmosis inversa).

Etapas del proceso de tratamiento	Instrumento, equipo e insumo requeridos	Unidades requeridas	Características del equipo del instrumento o insumo y condiciones de operación	Superficie requerida para la colocación y manejo del equipo
	Tanque de almacenamiento del efluente	1	Cap. 20,000 litros	20 m ²
Filtración con arena	Bomba centrífuga	1	RPM 1750, Voltaje Clasificado 460VCA. 2 bar de presión y un caudal de 1 m ³ /s	Superficie de 50 cm ²
	Unidad de filtración con arena	1	Flujo máximo 56 L/min, presión de funcionamiento máxima, 6 kg/cm ² , temperatura máxima 38°C, temperatura mínima 4°C, dimensión del filtro 108 mm x 254 mm	1 m ² que comprende la columna y los soportes
Intercambio iónico con resinas	Unidad de intercambio iónico	1	Tanque de fibra de vidrio con capacidad de 100 L de resina, boya de seguridad de 1 pulg., incluye válvula de medición de control.	1 m ² que comprende la columna y los soportes
	Bomba centrífuga	1	RPM 1750, Voltaje Clasificado 460VCA. 2 bar de presión y un caudal de 1 m ³ /s	Superficie de 50 cm ²
Osmosis inversa	Unidad de osmosis inversa	1	membrana de ósmosis inversa con una precisión de 0.001 micrones, Máxima candad de sólidos disueltos recomendada: 800ppm, Rango de presión en la entrada: 15 - 80 psi (1-5.6kg/cm ²), Rango de temperatura en la entrada: 4°C - 52°C.	Superficie de 1 m ² en un área de 2 m de largo por 0.5 m de ancho
	Bomba centrífuga	1	RPM 1750, Voltaje Clasificado 460VCA. 2 bar de presión y un caudal de 1 m ³ /s	Superficie de 50 cm ²
	Tanque de almacenamiento	1	Cap. 20,000 litros	Superficie de 20 m ²

Tabla 3.15 Requerimiento del proceso para recuperación de agua con la alternativa 2 (intercambio iónico con resina aniónicas y OI)

Alternativa de tratamiento del efluente	Etapas del proceso de tratamiento	Dimensiones de equipo	Condiciones de operación	Insumos. Materiales y reactivos	Oferta (caudal tratado)	Calidad del agua tratada
Proceso de tratamiento con resinas de intercambio iónico y osmosis inversa	Filtración con arena	2 columnas con válvula para regular la salida Diámetro. 0.4 m Altura 1.125 m	Hidratación de la resina con agua potable por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 1 L/h.	Volumen de lecho de arena 100 L 150 L de agua potable para hidratación 150 L de agua para lavado de arena	200 L/h	Efluente libre de SS y SD
	Intercambio iónico con resina aniónica y proceso de regeneración para resinas de intercambio iónico	4 columnas con válvula para regular la salida. Diámetro. 0.4 m. Altura 1.125 m	Hidratación de la resina con agua potable por 24 horas Temperatura ambiente y presión atmosférica. Flujo continuo a 1 L/h.	Volumen de lecho de resina 100 L. 150 L de agua desionizada para hidratación 150 L de agua potable para lavado de resina 450 L de solución regenerante de HCl al 1%	200 L/h	Efluente libre de color y sales Calidad de agua de reuso de acuerdo con NOM-003
	Osmosis inversa y proceso de regeneración de la membrana	Dos unidades de oi de 2 m de largo. Diámetro 0.2 m. soportadas en una jaula metalica de 2 m x 50cm x 1 m.	Temperatura ambiente. Ph de 7.7. precion de 7 a 9 bar	Agua potable para lavado de la membrana	560 L/h	Efluente libre de sales Calidad de agua de reuso de acuerdo con NOM-127

En la tabla 3.16 se muestran datos de los insumos requeridos y sus características tales como composición, tamaño, aspecto, forma, pH capacidad entre otras características y costos de los insumos a escala laboratorio e industrial de acuerdo con la periodicidad de su uso que se requieren en el proceso para la recuperación de agua con la alternativa 2.

Tabla 3.16 Características fisicoquímicas, volúmenes y costos de los insumos requeridos para el proceso de tratamiento mediante alternativa 2.

Insumos requeridos en el proceso de intercambio iónico	Características fisicoquímicas de los insumos	Especificaciones requeridas de los insumos	Carga requerida de los insumos	Frecuencia de uso de los insumos (laboratorio)	Costo anual de los insumos requeridos para el proceso (\$)	
					Laboratorio	Industrial
Etapa 1. Tratamiento previo. Filtración del efluente con arena para procesos de resinas de intercambio iónico con 2 y 3 etapas	Composición química de la arena. Tamaño de partícula Humedad pH	99.86 % de SiO ₂ , 0.16 % de Al ₂ O ₃ , 30.09 % de Fe ₂ O ₃ , 0.004 % de TiO ₂ y <0.01 % Na ₂ O. 0.45 y 0.55 mm 1% 7	100 L de arena	Anual	\$714.00	\$3,571.00
			150 L de agua potable para hidratación	Anual	\$450.75	\$1,803.00
			150 L de agua para lavado	Semanal	\$450.75	\$1,803.00
Etapa 2. Intercambio iónico mediante resinas aniónicas y su regeneración para proceso de resinas de intercambio iónico con 2 y 3 etapas	Aspecto físico Forma iónica Tamaño de criba Rango de pH Temperatura max de operación Capacidad de flujo de operación	Perlas esféricas color blanco OH ⁻ Criba estándar EUA, malla 16-40 0-7 35°C 40 – 56 L/h	150 L de resina	Anual	\$8052.00	\$40263.00
			150 L de agua potable para hidratación	Semanal	\$450.75	\$1,803.00
			150 L de agua para lavado	Semanal	\$450.75	\$1,803.00
			450 L de solución regenerante 1% de HCl	Semanal	\$11,520.00	\$57,600.00
Etapa 3. Osmosis inversa	Aspecto Físico Rango de pH Temperatura Máx de Operación Capacidad de Flujo de Operación	7 Ambiente	Membrana de osmosis inversa	Semestral	\$990.00	\$63000.00
			Agua potable para lavado de la membrana	Semanal	\$500	\$27000.00

En la figura 3.7 se muestra un diagrama de las etapas que conforman el proceso de recuperación de agua mediante la alternativa 2. Conformadas por una columna de filtración con lecho de arena (1), una columna de intercambio iónico (2) y una unidad de osmosis inversa (3).

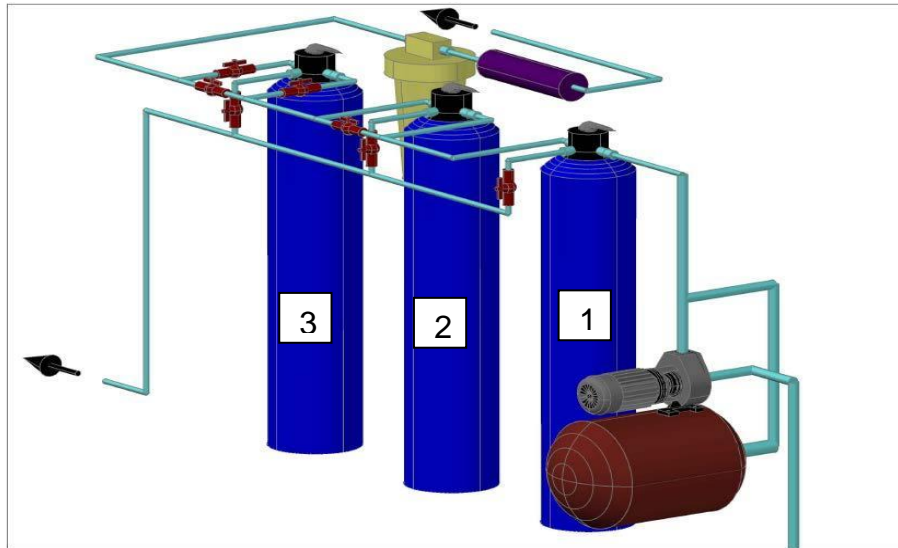


Figura 3.7 Diagrama de las etapas del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.

En la figura 3.8 se muestra el diagrama de microlocalización del área de proceso de intercambio iónico y osmosis inversa (alternativa 2) para la recuperación de agua mediante.

El área de proceso proyectada incluye un espacio para oficina del personal a cargo del proceso, un área de almacén y el espacio donde se ubicarán los equipos, según lo indicado en la tabla 3.14.

De acuerdo con el área requerida y la distribución del equipo se estableció que el área necesaria para la implementación del proceso correspondiente a la alternativa 2 requiere de 196 m².

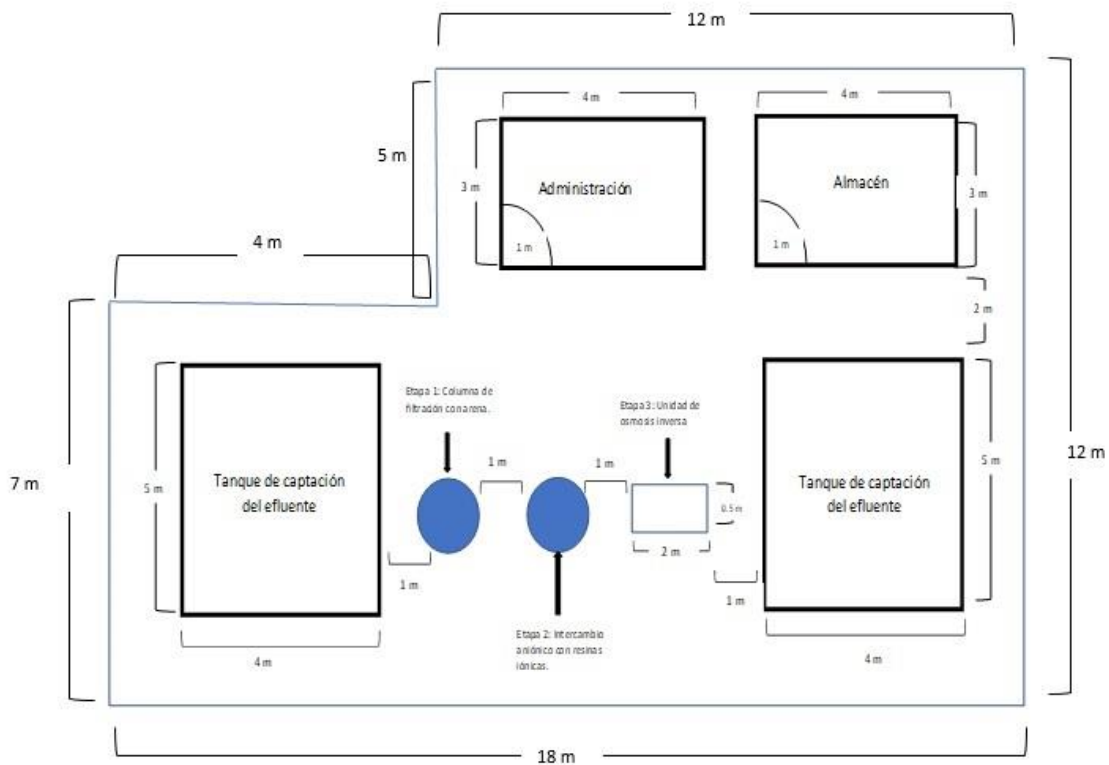


Figura 3.8 Micro localización del proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.

En las figuras 3.9-3.11 se presentan diferentes vistas de la planta de proceso propuesto para la recuperación de agua siguiendo la alternativa 2 (intercambio iónico y membrana de osmosis inversa) y los equipos que la integran, considerando un tanque de almacenamiento, una unidad de filtración, una unidad de resinas de intercambio iónico y una unidad de osmosis inversa. Las vistas fueron obtenidas del programa AutoCAD, considerando el tamaño de la planta y el marco jurídico para la distribución correcta de la tecnología como lo indica la NOM-031-STPS-2011 y la ISO 41001 para las mejores prácticas de gestión de instalaciones.

La columna de la izquierda representa el equipo de filtración y las siguientes corresponde a las columnas de resina aniónica y osmosis inversa.

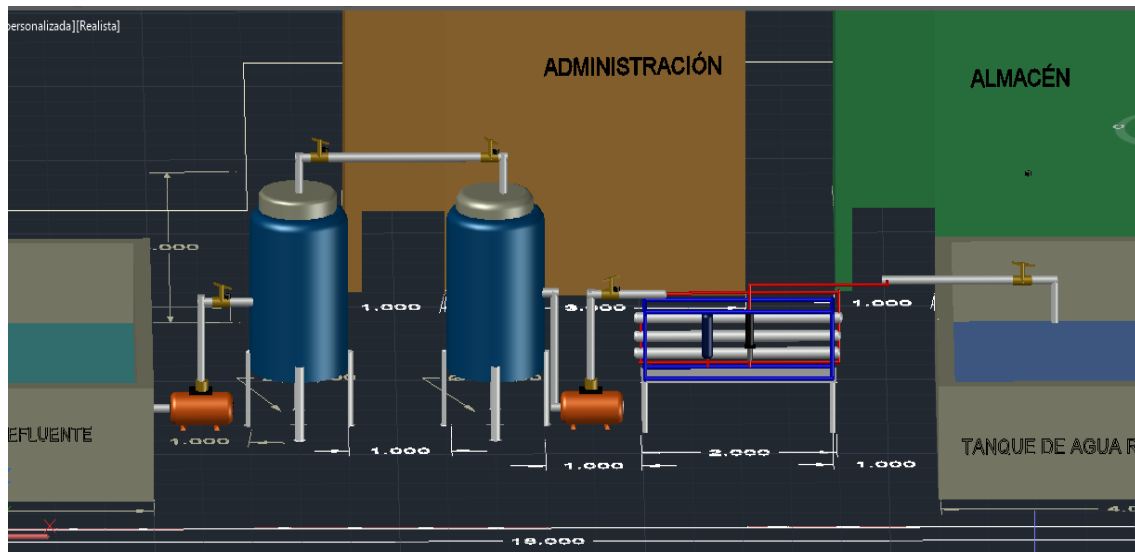


Figura 3.9 Vista frontal de la columna de filtración, resinas de intercambio iónico y membrana de osmosis inversa, que conforman la planta propuesta para recuperación de agua mediante la alternativa 2.

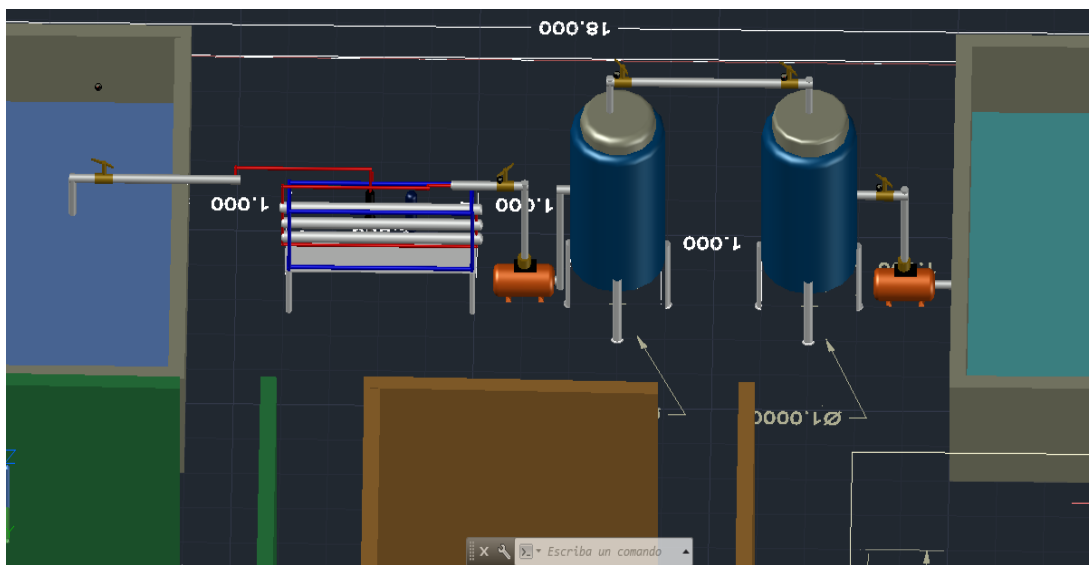


Figura 3.10 Vista posterior de la planta de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y osmosis inversa.

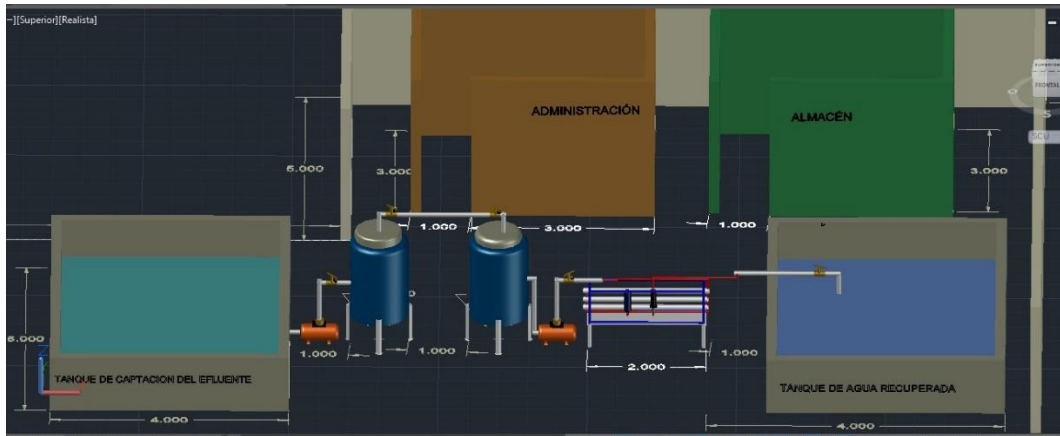


Figura 3.11 Vista desde arriba de la distribución de planta del proceso propuesto de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico y OI.

3.2 Estudio ambiental del proyecto de inversión

3.2.1. Proceso de tratamiento del efluente industrial usando resinas de intercambio iónico y osmosis inversa

En la tabla 3.17 se muestran los datos que conforman la matriz de identificación de las áreas de afectación y relación causa efecto derivadas de la identificación de las actividades de los procesos de tratamiento para recuperación de agua aplicando un proceso de intercambio iónico y osmosis inversa.

A su vez, en la tabla 3.18 presenta una matriz concentrada de la evaluación del efecto ambiental, destacando la evaluación cuantitativa de los criterios de incidencia de la relación causa-efecto (magnitud, peligrosidad, límites de referencia, sensibilidad al medio, regulación, probabilidad, extensión).

Tomando como base la ponderación establecida en el método Ihobe (2009), se establece que el efecto ambiental derivado de las actividades implícitas en el proceso de tratamiento de intercambio iónico para la recuperación de agua es viable ambientalmente, debido a que el efecto del proyecto dio como resultado cuantitativo

un valor de 1.13; determinando que el proyecto tiene un efecto ambiental bajo, ya que el resultado (R) se encuentra en el rango $1 \leq R < 1.5$.

Tabla 3.17 Matriz de identificación de áreas de incidencia y actividades que causan un efecto derivadas del proceso de tratamiento correspondiente a la alternativa 2.

Proceso de resinas de intercambio iónico	Efecto o consecuencia negativa del proceso de tratamiento				Tipo de efecto Relación (causa/efecto)
	Entrada	Operación	Salida (efecto)	Frecuencia del efecto	
Filtración con arena para el proceso de resinas de intercambio iónico.	Arena	Retención de sólidos	Arena saturada	Anual	Simple
	Efluente residual		Lodos	Semanal	Simple
	Agua para lavado de arena	Lavado de arena	Efluente de lavado de arena	Semanal	Simple
Remoción del color del efluente con resina aniónica para el proceso de resinas.	Efluente residual	Intercambio iónico	Residuos de resinas (al final de su vida útil)	Anual	Simple
Remoción de sales del efluente con osmosis inversa	Efluente residual	Filtración con Osmosis inversa	Residuos de membrana de osmosis inversa (al final de su vida útil)	8 meses	Simple
Regeneración de resinas (aniónicas y lavado de membrana) para la alternativa 2.	Solución regenerante (HCl y NaOH al 1%)	Regeneración de resinas saturadas con colorantes y sales	Efluente residual contaminado con colorantes	Semanal	Simple
	Agua para lavado de membrana		Agua residual contaminado con sales	Semanal	Simple

En la tabla 3.16 se demostró que la relación causa efecto de las etapas que comprende el proceso de recuperación de agua mediante resinas de intercambio iónico es simple ya sea en causas con frecuencia semanal o anual. En la tabla 3.17 se concluyó el impacto ambiental ocasionado por la implementación del proceso se determinó un impacto bajo que se interpreta en cómo no dañino al medio ambiente y con ventajas positivas debido a la recuperación de agua.

Tabla 3.18 Matriz concentrada para la evaluación del efecto ambiental correspondiente a la alternativa 2.

PROCESO DE RESINAS	EFECTO O CONSECUENCIA			EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LOS EFECTOS EN CONDICIONES NORMALES Y ANORMALES					EVALUACIÓN DE LOS CRITERIOS DE LOS EFECTOS EN SITUACIONES DE EMERGENCIA				
	Entrada	Operación	Salida (efecto)	Magnitud	Peligrosidad	Límites de referencia	Sensibilidad al medio	Regulación	Probabilidad	Extensión	Peligrosidad	Sensibilidad al medio	CC total del efecto
Filtración con arena	Arena	Retención de sólidos	Arena saturada	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
	Efluente residual		Lodos	1	1	2	1	3	1	1	1	2	13
	Agua para lavado de arena	Lavado de arena	Efluente de lavado de arena	1	1	1	1	1	1	1	1	1	9
Remoción del color del efluente residual con resinas aniónicas	Efluente residual	Intercambio iónico	Residuos de resinas (al final de su vida útil)	1	1	1	2	1	1	1	1	2	11
Remoción de sales del efluente residual con osmosis inversa	Efluente residual		Residuos de membranas (al final de su vida útil)	1	1	1	1	1	1	1	1		9
Regeneración de resinas y lavado de membrana	Solución regenerante (hidróxido de sodio y ácido clorhídrico al 1%)	Regeneración de resinas saturadas con colorantes y lavado de	Efluente residual contaminado con colorantes	1	1	1	1	3	2	1	1	2	13
	Agua para lavado de membrana	membrana saturada con sales	Efluente residual contaminado con sales	1	1	1	1	3	2	1	1	2	13
Calificación cuantitativa total de los criterio				7	7	8	8	13	9	7	7	11	88 77

C= Calificación cuantitativa

3.3 Estudio económico-financiero del proyecto de inversión

En los resultados de este estudio se presenta la viabilidad económica-financiera del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 2.

En la tabla 3.19 se describe la inversión fija que corresponde a la obra civil y equipos con tiempo de vida útil mayos a 18 meses (Moreno 2014).

Tabla 3.19 Inversión fija, equipos y costos requeridos para el proceso de recuperación de agua mediante alternativa 2.

Presupuesto de inversiones en activos fijos			
Detalle	Proveedor	Costo parcial	Costo total
Obra civil			
Adquisición de tanque de captación para agua residual cap. 20,000 L.	Rotoplas	\$37,000.00	\$37,000.00
Adquisición de tanque de captación para agua tratada cap. 20,000 L.	Rotoplas	\$37,000.00	\$37,000.00
Otros gastos de construcción		\$50,000.00	\$50,000.00
Equipos			
Unidad de filtración con arena	Hidroclean	\$36,257.00	\$36,257.00
Unidad de intercambio iónico de resinas aniónicas	TodoAgua	\$23,298.39	\$23,298.39
Unidad de osmosis inversa	InstaPura	\$103,893.00	\$103,893.00
Bomba centrifuga		\$46,475.00	\$139,425.00
Tubería, válvulas, sistemas de medición y control	TodoAgua	\$100,000.00	\$100,000.00
Sub total		\$393,940.39	\$443,940.39
Imprevistos (5%)		\$19,697.01	\$22,197.01
Total inversión activos fijos			\$525,772.01

En la tabla 3.20 se presenta el desglose de la inversión diferida, compuesta por los servicios y derechos adquiridos necesarios para la puesta en marcha del proyecto. Y el capital de trabajo que se utiliza para que la alternativa de tratamiento pueda desempeñar sus actividades diarias.

Tabla 3.20 Inversión diferida y capital de trabajo para el proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 2.

Presupuesto de inversiones diferidas		
Detalle	Valor	
Gastos de instalación	\$10,000.00	
Pago de permisos para la construcción	\$1,600.00	
Sub total	\$11,600.00	
Imprevistos (5%)	\$580.00	
Total inversión diferida	\$12,180.00	
Capital de trabajo para el proceso de resinas anionicas y osmosis inversa (alternativa 2)		
Detalle	Costos y Gastos Anual por resina aniónica	Costos y Gastos Anual por osmosis inversa
Costos de insumos y servicios directos	\$20,000.00	\$8,000.00
Materia prima	\$22,100.00	\$26,600.00
Mano de obra	\$138,019.00	\$138,019.00
Sub total	\$180,119.00	\$172,619.00
Imprevistos (5%)	\$10,005.95	\$8,630.95
Capital de Trabajo	\$190,124.95	\$181,249.95

En la tabla 3.21 se muestra la inversión total que está conformada por inversión fija, inversión diferida, capital de trabajo y el 5% más del total para imprevistos que se requieran el proyecto de recuperación de agua a partir de un efluente residual de una industria de alimentos mediante un proceso de resinas de intercambio iónico y osmosis inversa.

Tabla 3.21 Inversión total del proyecto de recuperación de agua mediante alternativa 2.

Concepto	Valor del proceso con osmosis inversa
Inversión fija	\$525,772.01
Inversión diferida	\$12,180.00
Capital de trabajo	\$225,356.95
Subtotal	\$763,308.96
Imprevistos	\$39,190.00
Inversión total	\$802,498.00

En la tabla 3.22 tabla se expresan los gastos diarios que incurren para el correcto funcionamiento de la planta y lo que el proceso de resinas de intercambio iónico debe de tratar a diario para alcanzar el punto de equilibrio, además de lo que el proceso debe tratar diariamente para alcanzar esa rentabilidad anual. Lo expresado en las tablas indica que el proceso de resinas de intercambio iónico es factible económicamente puesto que tiene un punto de equilibrio cercano considerado una inversión a corto plazo.

Tabla 3.22 Gastos que incurren y lo que el proceso trata a diario para alcanzar el punto de equilibrio

Determinación de la producción diaria para alcanzar el punto de equilibrio				
Proceso: resinas de intercambio iónico				
Una empresa que pretende ahorrar agua para sus procesos mediante el tratamiento de sus aguas residuales con un proceso de tratamiento físico-químico.				
precio del m ³ de agua potable	\$12.03	Por m ³		
1) Determinación de los ingresos diarios para alcanzar el punto de equilibrio:				
Cantidad mensual ahorrada por adquisición de agua mensual:			\$16,040.00	
Ahorro mensual que la empresa por ahorro de cuotas, traslado y ahorro de agua mensual:			\$369,196.00	
Ingreso diario que la empresa debe obtener diario:				\$12,306.00
2) Determinación de los salarios que deben pagarse:				
No. de trabajadores:			6	
Salario mensual:			\$2,874.00	
Salario mensual que la empresa debe proporcionar:			\$11,496.00	
Salario diario que la empresa debe proporcionar:				\$383.3
3) Determinación de los gastos en:				
		Mensual:		Diario:
Energía eléctrica			\$20,000.00	\$666.66
Agua			\$00.00	\$00.00
Teléfono			\$580.00	\$19.33
Internet			\$580.00	\$19.33
Total				\$705.32
4) Determinación de la producción preliminar:				
Suma de gastos mínimos por día= Ingresos mínimos por día:				\$14,206.95
Dado que Ingreso = p * q, se deduce que q (cantidad mínima a producir) = Ingreso / precio =				1,180.96 m ³
5) Determinación del monto de materias primas e insumos básicos para obtener la producción preliminar:				
Materias primas		Mensual : \$3,580.00	Diario:	\$119.33
Insumos requeridos		Mensual: \$1,666.66	Diario:	\$55.55
				14.33 m ³
6) Determinación del monto de ingresos totales mínimos requeridos:				
		Suma de gastos mínimos:		180.96 m ³
		Suma de materias primas:		14.33 m ³
		Total, de erogaciones:		194.33 m ³
		Metros cúbicos tratados diariamente		198.15 m³

3.4.1 Valor presente neto del proyecto. VPN

El valor presente neto permitió establecer la equivalencia entre los ahorros y los gastos del proyecto de factibilidad de inversión para el tratamiento de un efluente de una industria alimenticia mediante alternativa 2, tomando en cuenta una inversión inicial de \$802,8498.00 pesos para la realización de dicho proyecto y siguiendo la formula y procedimiento del apartado de metodología. El valor presente neto del proyecto tiene como resultado \$1,356,221.62 lo que indica que por cada peso invertido en el proyecto se obtiene una ganancia de \$1.69 pesos para el proceso de la alternativa 2.

3.3.2 Periodo de recuperación de la inversión (PRI)

El periodo de recuperación de inversión índico en que tiempo se recuperara la inversión inicial y así saber cuánto tiempo tardara el proyecto en ser rentable económicamente siguiendo la formula explicada en el apartado de fundamentos y tomando como inversión inicial de \$802,8498.00 pesos para el proceso de resinas de intercambio iónico y Osmosis inversa. El periodo de recuperación de la inversión es de 67 días.

3.5 Análisis comparativo entre las dos alternativas de tratamiento de un efluente industrial para la recuperación de agua

De acuerdo con los resultados de los tres estudios, se observa que ambas alternativas son factibles de implementar a nivel industrial, ya que la alternativa 1 requiere una inversión inicial de \$722,863.95 pesos y la alternativa 2 una inversión de \$802,498.00 pesos, con un tiempo de recuperación de la inversión de la alternativa 1 de 61 días y para la alternativa 2 de 67 días. Teniendo un VAN de \$1.71 pesos para la alternativa 1 y de \$1.699 pesos para la alternativa 2, lo que

indica que por cada peso invertido se obtendrá \$1.71 pesos y \$1.71 pesos respectivamente para cada alternativa. Lo que representa viabilidad económica-financiera en ambas alternativas.

En el aspecto técnico ambas alternativas cuentan con la capacidad de cubrir las necesidades de la industria en caudal y calidad, así como, la disponibilidad de la tecnología, mano de obra, espacio y normatividad requerida.

Por tanto, la diferencia entre ambas alternativas se encuentra en el efecto ambiental, dado que la alternativa 1 genera mayores residuos y requiere mayor tiempo y reactivos para la regeneración de los materiales, por lo que se sugiere la implementación de la alternativa 2.

En la tabla 3.23 se presenta un resumen comparativo de la factibilidad de inversión integral para el proyecto de recuperación de agua mediante las dos alternativas planteadas.

Otros estudios realizados sobre el análisis de factibilidad de proyectos inversión sobre tratamiento de agua y/o su recuperación arrojaron información para la toma de decisiones de su implementación.

Escamilla et al. (2013), encontró que el análisis económico de la ejecución de un proyecto de recuperación del agua residual de un proceso minero en colima es viable ya que el VPN resultó de 2'053,982 USD (dólares americanos) con un periodo de recuperación de la inversión de 2 años y 6 meses, ya que, al medir los futuros ingresos, egresos y descontar la inversión inicial, se obtiene un VPN positivo mayor a 0 lo que indica una alta rentabilidad en el proyecto.

Sámano et al. (2013), evaluó la implementación de una planta purificadora de agua en Infiernillo, municipio de Arteaga, Michoacán, para producción y los beneficios monetarios de su comercialización. Los indicadores de rentabilidad financiera Valor Actual Neto (VAN), Tasa Interna de Retorno (TIR), Relación Beneficio Costo (B/C) y la relación beneficio-inversión neta (K/N) dieron como resultado que se requiere

una inversión fija (309,543 pesos), diferida (35,087 pesos), costos anuales (108,692 pesos) y presupuesto de ingresos (3'077,280 pesos). Los resultados fueron para VAN = 6'745,459.75 pesos; TIR = 44.15%; R B/C = 2.16 pesos y N/K = 21.73. Al realizarse el análisis de sensibilidad de costos e ingresos totales, el proyecto mostró viabilidad, ya que el VAN es positivo mayor a 0, la TIR representa un ingreso del 44.15% con respecto a lo invertido y la relación B/C es > 1 , esto indica que los beneficios son mayores a los costos. Por lo cual se concluye con una viabilidad económica-financiera para el proyecto.

En 2013 Juárez et al., realizaron el estudio de factibilidad técnica, económica y ambiental para la implementación de una planta piloto para la producción de hidrógeno, a partir del tratamiento por fermentación utilizando los residuos de una planta de tratamiento de aguas residuales y otros residuos.

El resultado de dicho estudio arrojó que la producción de hidrógeno por fermentación es factible en términos técnicos, financieros y económicos, se estimó que requiere cerca de 4.5 millones de pesos como inversión inicial, los cuales se recuperarían en el primer año de funcionamiento de la planta. Asimismo, se disminuirían los costos derivados de la recolección y el transporte de los residuos (\$1,540,080 pesos/año). La contribución ambiental del proyecto es la reducción de emisiones en 131.901 ton métricas de CO₂ equivalentes al día y la minimización de desechos sin tratamiento al medio ambiente.

Tabla 3.23 Factibilidad de inversión entre la alternativa 1 y 2 para la recuperación de agua

Estudios realizados para la determinación de la factibilidad de inversión del proyecto	Aspectos considerados	Propuesta de tratamiento Alternativa 1	Propuesta de tratamiento Alternativa 2	Viabilidad de las propuestas de tratamiento
Estudio Técnico	Área requerida dentro de los límites de la industria para la instalación de la tecnología	174 m ²	196 m ²	Alternativas 1 y 2
	Disponibilidad de la tecnología, equipo, materiales e insumos en el territorio mexicano	Rotoplas Hidroclean TodoAgua	Rotoplas Hidroclean Purikor	Alternativas 1 y 2
	Normatividad que rige la calidad del agua tratada, residuos y su disposición, calidad de los procesos, construcción-condiciones de seguridad y salud en el trabajo.	NOM-003-ECOL-1997 NOM-004-SEMARNAT-2002 NOM-127-SSA1-1994 NOM-001-ECOL-1996 (06/ENE/97) ISO 45001 NOM-002-ECOL-1996 (03/JUN/98) ISO 14000 ISO 41001 NOM-031-STPS-2011	NOM-003-ECOL-1997 NOM-004-SEMARNAT-2002 NOM-127-SSA1-1994 NOM-001-ECOL-1996 (06/ENE/97) ISO 45001 NOM-002-ECOL-1996 (03/JUN/98) ISO 14000 ISO 41001 NOM-031-STPS-2011	Alternativas 1 y 2
	Empleados requeridos para la correcta operación del proceso para la recuperación de agua	1 ingeniero ambiental 2 responsables de planta 1 encargado de suministros 2 operarios	1 ingeniero ambiental 2 responsables de planta 1 encargado de suministros 2 operarios	Alternativas 1 y 2
	Caudal tratado requerido por la industria	200 L/h	200 L/h	Alternativas 1 y 2
	Calidad del efluente tratado	Agua potable con especificaciones de la norma NOM-127-SSA1-1994	Agua potable con especificaciones de la NOM-127-SSA1-1994	Alternativas 1 y 2
Estudio Ambiental	Residuos generados por la alternativa de tratamiento	300 litros de resinas c/6 meses	150 litros de resinas c/6 meses y membranas c/8 meses	Costo promedio por recolección, transferencia y disposición final de los residuos es de \$1,446-\$3,100 pesos

	Sensibilidad al medio de los residuos generados por las alternativas	Medio	Bajo	La disposición final de los residuos generados es altamente empleada en otro sector
	Efecto ambiental de las alternativas propuestas	1.3	1.14	Ambas alternativas tienen una afectación baja al medio ambiente
Estudio Económico financiero	Inversión total requerida para la implementación del proceso	\$722,863.95 pesos	\$802,498.00 pesos	Alternativa 1 y 2
	Insumos requeridos anualmente	\$274,852 pesos	\$180,646 pesos	Alternativa 2 y 2
	Valor presente neto	\$1.71 pesos	\$1.699 pesos	Alternativa 1 y 2
	Periodo de recuperación de la inversión	61 días	67 días	Alternativa 1 y 2
	Proceso factible para la recuperación de agua	Factible técnica, ambiental y económicamente	Factible técnica, ambiental y económicamente	Alternativa 1 y 2

CONCLUSIONES

En este trabajo se evaluó la factibilidad de inversión de un proceso de recuperación de agua a partir del tratamiento de un efluente industrial, mediante el estudio del aspecto técnico, ambiental y económico para evaluar.

De acuerdo con lo requerido por la industria, existen dos alternativas de tratamiento del efluente para recuperar agua. Ambas alternativas se conforman de tres etapas; las dos primeras etapas son comunes a las dos alternativas y corresponden a la filtración e intercambio iónico con resinas aniónicas. La tercera etapa de la alternativa 1 consiste en un proceso de intercambio iónico con resina mixta, y para la alternativa 2, la etapa 3 corresponde a un proceso de osmosis inversa.

El estudio técnico arrojó que ambas alternativas son factibles, ya que la tecnología a utilizar para implementar los procesos que involucran la recuperación de agua se encuentra disponible comercialmente. Con respecto al espacio que la tecnología demanda, la industria cuenta con el espacio requerido; por otro lado, el personal necesario para operar los procesos involucrados en ambas alternativas puede ser de 4-6 personas. En el marco legal, la normatividad existente relacionada con la calidad de agua de reuso y residuos generados puede cumplirse en la implementación de ambos procesos, por lo que ambas alternativas se consideran técnicamente factibles.

Con respecto al estudio del efecto ambiental, los resultados indicaron que ambas alternativas presentan bajas afectaciones al ambiente y son derivadas de la generación de residuos sólidos, los cuales pueden incorporarse a materiales de construcción. Por otro lado, el fin del proyecto de recuperación de agua agrega un valor sustentable a la empresa y es un beneficio para la sociedad.

El estudio económico también arrojó viabilidad en ambas alternativas, puesto que la inversión es menor a la utilidad la cual se deriva del ahorro por tratamiento externo y disposición del efluente residual, así como de suministro de agua potable; con lo cual se proyecta la recuperación de la inversión inicial en dos meses, con un margen de utilidad de más de \$3,000,000.00.

REFERENCIAS

Aliberti, C. A. (2006). Análisis Financiero de Proyectos de Inversión (Primera ed.). Buenos Aires, Argentina. Consejo Profesional de Ciencias. Económicas de la Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

Anjaneyulu, Sreedhara-Chary y Suman-Raj (2005). Decolourization of industrial effluents. Available methods and emerging technologies, (4, 245–273).

Awasthi, et al., (2019). Application of Amberlite XAD-7 Resin Impregnated with <Aliquat 336 for the Removal Reactive Blue,13 Dye: Batch.

Ayala M. et al., (2009). Procesos de Membranas Para el Tratamiento de Agua Residual Industrial con Altas Cargas del Colorante Amarillo Acido 23, vol.38.

Baca Urbina, G. (2001). Evaluación de Proyectos (Cuarta ed.). México: Mc Graw – Hill.

Brealey R. y Myers (1998). Fundamentos de Financiación Empresarial. España: Mc Graw-Hill.

Bueno Campos, E. (1992). Economía de la Empresa; Análisis de las Decisiones Empresariales: Madrid: Pirámides, S.A.

Christie R. (2001). Colour Chemistry. Cambridge, United Kingdom: The Royal Society of Chemistry.

Comisión Nacional del Agua, (2011). Estadísticas del Agua en México. Boulevard Adolfo Ruiz Cortines No. 4209, Col. Jardines en la Montaña, C. P.

14210, Tlalpan, México, D. F.: Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales

Condorchem Envitech. (2020). Condorchem Envitech Smart ideas for Wastewater & Air Treatment. Recuperado de <https://condorchem.com>.

Conesa F., V. (1993). Guía Metodológica Para la Evaluación del Impacto Ambiental. Madrid: Colegio Oficial de Ingenieros. Agrónomos de Levante & Mundi-prensa.

Conesa F., V. (1997). Auditorías Medio Ambientales. Guía metodológica. Madrid: Mundi-Prensa.

Córdora, J.L. (1998) Teoría y Aplicaciones del Marketing. España: J.L.Córdora Deusto, S.A.

Cortazar Martínez, A. (2012). Introducción al Análisis de Proyectos de Inversión. México D.F., México: Trillas.

De la hoz, F., Rivera, D., Arumil, J. y Mansilla, H. (2007). Avances en la Desinfección de Agua de Riego por Fotocatálisis Solar: Desarrollo Experimental y Resultados Preliminares. Universidad de Concepción, Chile: Universidad de Concepción, Chile.

Dias A.D., Sampaio, A. y Bezerra, R.M. (2007). Environmental Applications of Fungal and Plant Systems: Decolourisation of Textile Wastewater and Related Dyes. En Environmental Bioremediation Technologies. Springer Berlin Heidelberg: Singh S.N. y Tripathi R.D.

Domos Agua. (2019). Los Efluentes Industriales, Clasificación y Tratamiento. Monterrey, NL México. Recuperado de <https://www.domosagua.com/blog/efluentes-industriales>.

Field Barry C. (1995) Economía Ambiental. Colombia: Mc Chile.

Fischer, F., Espejo, J. (2004). Mercadotecnia. Tercera Edición. México: McGraw Hill.

Harold Bierman, Jr. (1994). Análisis Cuantitativo Para la Toma de Decisiones 8va. Edición. Col. Granjas Esmeralda Delegación Iztapalapa México, D.F.: Mc Graw-Hill.

Ihobe, Sociedad Pública de Gestión Ambiental. (2009). Identificación y Evaluación de Aspectos Ambientales. Comunidad autónoma del país vasco: Ihobe, S.A.

Kelety Alcaide, A. (2000). Análisis y Evaluación de Inversiones. Barcelona: Gestor.

Kotler, Ph. (1992). Dirección de Marketing. Madrid: Pretice-Hall.

Lau W.J., et al., (2014). Treatment of Restaurant Waste Water Using Ultrafiltration and Nanofiltration Membranas. Journal of Water Process Engineering. doi: 10.1016/j.jwpe.2014.05.001.

NOM-001-SEMARNAT-1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

NOM-002-SEMARNAT.1996. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

NOM-003-SEMARNAT-1997. Norma Oficial Mexicana que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

NOM-004-SEMARNAT-2002. Norma Oficial Mexicana protección ambiental. - lodos y biosólidos. -especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

NOM-127-SSA1-1994. Norma Oficial Mexicana "salud ambiental, agua para uso y consumo humano- límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización".

Pavithra, KG, SR (2019). Eliminación de Colorantes de las Aguas Residuales: una revisión sobre las fuentes y las estrategias de tratamiento. Revista de Química Industrial y de Ingeniería.

Peñuela G. (Septiembre 2006). Procesos de Membranas Para el Tratamiento de Agua Residual Industrial con Altas Cargas del Colorante Amarillo Ácido 23. Facultad de Ingeniería, 38, 53-63.

Polimeri. (2005). Contabilidad de Costos. Conceptos y aplicaciones para la toma de decisiones gerenciales. La Habana: Félix Varela.

Quispe C. & Astudillo L.& Villaseñor J.& Delgadillo A. (2004). Ozonización del antibiótico Trimetoprim: Evolución de la toxicidad durante la degradación. Revista de la Sociedad Química del Perú. Issn 1810-634X.

Ramírez Almaguer, D., Vidal Marrero, A. y Domínguez Rodríguez, Y. (2009). Etapas del Análisis de Factibilidad, Contribuciones a la Economía. Universidad de Málaga: Issue 2009-03.

Sánchez Machado, I. (2004). Evaluación Financiera Económica y Social de proyectos. Santa Clara: Universidad Central.

Urbina G.. (2010). Evaluación de Proyectos. México. D.F.: Mcgraw-Hill/Interamericana Editores S.A De C. V.

Wawrzkievicz, M. (2013). Eliminación del Colorante CI Basic Blue 3, por Sorción en Resina de Intercambio Catiónico, Sorbentes Poliméricos Funcionalizados y no Funcionalizados de Soluciones Acuosas y Aguas Residuales. Revista de Ingeniería Química, 217, 414-425.

William J. Stanton, Michael J. Etzel, Bruce J. Walker. (2004) Fundamentos de Mercadeo. Decima Tercera Edición.

ANEXOS

Los siguientes anexos son cotizaciones de los equipos analizados para la implementación del proceso de tratamiento de agua mediante resinas de intercambio iónico con 2 y 3 etapas.

Ciudad de México,
09 de octubre de 2020

Estimado Ángel David Calvo Aguilar:

Ha solicitado información sobre los precios de productos de nuestra compañía. A continuación, le aparece nuestro presupuesto:

Clave	Producto	Descripción	Unidad	Cant.	Precio unitario
44ZH82	Bomba centrífuga	Sistema de Aguas Residuales Simplex, 1/2 HP, Voltaje 115, 60 Hz, 1 Fase, Amperes 9.5, Entrada 4 pulg., Salida 3 pulg., GPM de Agua @ 5 pies de Elevación 120, GPM de Agua @ 10 pies de Elevación 95, GPM de Agua @ 15 pies de Elevación 70, GPM de Agua @ 20 pies de Elevación 25, Altura del Depósito 26-35/64 pulg., Diám. del Depósito 24 pulg., Longitud del Tanque 24 pulg., Cap. Del Depósito 41.0 gal., Longitud de Cable 20 pies, Tamaño de Cable 18 a 3	pieza	1	Precio incluye IVA 16% \$38,657.00 / pieza
44ZH85	Bomba centrífuga	Bomba con cuerpo de hierro fundido. Descarga 2" HNPT. Cido de servicio continuo. Material de impulsor de hierro fundido, tipo de motor fase 3. Altura total 19", RPM 1750. Diam. Del cuerpo 12.1/2". Amperes 2.9. Diámetro de descarga 2". Diam. Max. De sólidos 2". Material del sello del eje. Bombas Ceburo de Sición. Fase- Bombas 3. Voltaje Clasificado 460VCA.	Pieza	1	Precio incluye IVA 16% \$46,475.00 / pieza
44ZJ07	Bomba centrífuga	Amperes 8.5, Entrada 4 pulg., Salida 2 pulg., GPM de Agua @ 5 pies de Elevación 110, GPM de Agua @ 10 pies de Elevación 70, GPM de Agua @ 15 pies de Elevación 30, Altura del Depósito 26-35/64 pulg., Diám. del Depósito 24 pulg., Longitud del Tanque 24 pulg., Cap. Del Depósito 41.0 gal., Longitud de Cable 20 pies, Tamaño de Cable 18 a 3, Material de la Cubierta Hierro.	Pieza	1	Precio incluye IVA 16% \$46,698.70 / pieza

Le recordamos que estos precios están vigentes hasta el día 31 de diciembre de 2020.

Cualquier duda o aclaración estamos para atenderle, al 800 800 80 88.

Cotización 1. Empresa GRAINGER se cotizo bomba centrífuga.

Soluciones Hidráulicas para todas las Industrias
 Agradecemos el interés que tiene por nuestros **Tanques de Almacenamiento Especializado**

	DESCRIPCION	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO UNITARIO
Tanque de almacenamiento para Agua y Químicos 20,000 litros tecnotanques de reforzamiento al 40%.	Tanques de almacenamiento Industrial, te brindan la seguridad de almacenar tus productos y sustancias de la mejor manera, están fabricados mediante rotomoldeo en una sola pieza lo que evitando fugas en uniones. Almacena agua, alimentos, melazas, fosfatos y más de 300 sustancias químicas.	1	PIEZA	\$44,680.00
Tanque Tanque 22000 Litros. Marca Rotoplas	Tanque 22,000 Litros Polietileno, almacenan agua, pulpas, ácidos, melazas, cloruros y muchas más sustancias densas y corrosivas. Son tanques industriales reforzados y de grado alimenticio, no provocan ningún sabor ni olor al producto almacenado	1	Pieza	\$83,330.92

***Envío sin costo a todo México**

*** El precio publicado es de Cisterna 20,000 litros marca Tecnotanques y de Cisterna 22,000 litros marca Rotoplas .**

*** Disponible para Recolección en Planta, pregunte a su asesor por las plantas.**

La Garantía de por Vida ampara el promedio de vida útil del tanque y exclusivamente en base a defectos de fabricación.

** En tanques para sustancias químicas la garantía es de 4 años validando sustancia en tabla de resistencias químicas.*

**Medidas aproximadas ya que el polietileno puede llegar a tener una variabilidad del 3%.*

Cotización 2. Empresa Rotoplas se cotizo el tanque receptor del agua proveniente del efluente y el agua recuperada proveniente del proceso de resinas.

ORDERING INFORMATION

DESCRIPTION	Q	U	APLICACION	\$UC (MXN)	\$Total Value
Maximum flow of 56 liters l / min, maximum operating pressure of 38 ° C, maximum temperature of 38 ° C, minimum temperature of 4 ° C, filter dimension of 4.25 "x 10".	1	P	Residual Water	\$16,850.50	\$16,850.50
Fiberglass tank pre-filled with 100 liters of anionic resin, 1 "safety buoy, includes complete 5600 bypass, control metering valve.	1	P	Residual Water	\$84,275.00	\$84,275.00
9x48" fiberglass tank with 4 ft3 capacity preloaded with a bag of mixed purikor resin, maximum flow rate of 90 l / m.	1	P	Residual Water	\$20,960.00	\$20,960.00
				Total	\$122,085.00
				IVA	\$19,533.68
				Total cost	\$141,618.68

The values listed apply for services if they are ejecutive with hin the area metropolitan

Cotización 3. Se cotizo las columnas para el intercambio iónico.