



UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO A. C.
ESTUDIOS INCORPORADOS A LA UNIVERSIDAD
NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA INDUSTRIAL

**PROPUESTA METODOLÓGICA DE PROCESO DE ÓSMOSIS
INVERSA PARA EL LABORATORIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
EN UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO CAMPUS COATZACOALCOS,
VER.**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA:

ANDRES ADOLFO BEZARES ARELLANES

ASESOR DE TESIS:

ING. SUSANA ELVIRA GONZÁLEZ CARRASCO

COATZACOALCOS, VER.

NOVIEMBRE 2018



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Dedicatoria:

Para las personas más importantes y admirables en mi vida mis Padres, mi bella esposa, que gracias a su amor, esfuerzos, dedicación, sacrificios, tiempo, trabajo y apoyo incondicional he podido finalizar otra etapa en mi carrera profesional.

Una dedicatoria especial a mi hermosa hija Arantza Bezares Meza, por su amor especial, impulso y motivación que me dio para dar este gran paso.

TÍTULO

**PROPUESTA METODOLÓGICA DE PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA PARA
EL LABORATORIO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL EN UNIVERSIDAD DE
SOTAVENTO CAMPUS COATZACOALCOS, VER.**

PROBLEMA

Teniendo en cuenta que la universidad de sotavento campus Coatzacoalcos, Ver., siempre ha tenido gran acogida en la comunidad estudiantil por sus programas orientados hacia la formación para el trabajo y el desarrollo humano.

Una de las carreras con mayor preferencia es la Licenciatura de Ingeniería Industrial, la cual cuenta con laboratorio de química y física, que fortalecen las materias de procesos, sin embargo, la carencia de motivación para la creación de marcos metodológicos no ha generado desarrollo de investigación en materia de proceso químico.

Crear nuevas opciones que genere transversalización en la educación del Ingeniero Industrial es necesario para consolidarlo en el ámbito de procesos químicos.

JUSTIFICACIÓN

Es necesario construir metodologías que acerquen a los estudiantes de ingeniería industrial a diseñar procesos químicos desde una enseñanza metodológica.

Este trabajo aportará creatividad al momento de diseñar un proceso metodológico para sentar las bases de una posible creación que genere una construcción piloto del proceso de ósmosis inversa apoyado en esta investigación metodológica.

Es preciso que la ciencia metodológica sea aplicada en la formación del Ingeniero Industrial, integrarla para crear sinergia en los planteamientos de procesos químicos; es decir fortalecer al estudiante apoyado en investigación científica formará mejores profesionistas preparados no solo para calcular los procesos químicos, sino para formar y desarrollar etapas específicas de un trabajo o proyecto que parte de una posición teórica y conduce una selección de técnicas concretas (o métodos) acerca del procedimiento destinado a la realización de tareas vinculadas a la investigación, el trabajo o el proyecto.

HIPÓTESIS

UN DESARROLLO METODOLÓGICO PARA DISEÑO DE PROCESO QUÍMICO, COADYUVARÁ A LA FORMACIÓN DE INGENIERÍA INDUSTRIAL COMO BASE PARA LA FUTURA CONSTRUCCIÓN DE UN PROCESO PILOTO DE ÓSMOSIS INVERSA.

OBJETIVO:

Generar las primeras bases de una metodología de construcción de proceso piloto de ósmosis inversa, dirigido a los estudiantes de ingeniería industrial que coadyuve a su formación profesional.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

- Investigación del proceso de ósmosis inversa y sus aplicaciones.
- Propuesta metodológica para el proceso piloto de ósmosis inversa.
- Inversión – beneficios

ÍNDICE	PÁG.
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I (GENERALIDADES)	
1.1 UNIVERSIDAD DE SOTAVENTO Y LICENCIATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL	3
1.2 FORMACIÓN DEL INGENIERO INDUSTRIAL.	4
1.3 IMPORTANCIA DE LOS PROCESOS PARA EL INGENIERO INDUSTRIAL	6
1.4 LABORATORIO DE PROCESOS	7
CAPÍTULO II (MARCO TEÓRICO)	
2.1 ÓSMOSIS INVERSA Y SU HISTORIA	13
2.2 QUÉ ES LA ÓSMOSIS INVERSA Y SU IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA	19
2.3 PRINCIPIOS Y APLICACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA	31
2.4 NORMATIVIDAD	34
CAPÍTULO III (ESTADO DEL ARTE)	
3.1 UNIVERSIDAD DE TORONTO CANÁDA	38
3.2 UNIVERSIDAD DE ANDES, BOGOTÁ COLOMBIA	38
3.3 UNIVERSIDAD DE PALMAS CANARIAS	39
3.4 INVESTIGACIONES EN QUERÉTARO	40
3.5 UNIVERSIDAD DE QUERÉTARO	40
3.6 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO	41
CAPÍTULO IV. (METODOLOGÍA)	
4.1 ¿CÓMO OCURRE EL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA?	44
4.2 CONTROL DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA	44
4.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DEL PROCESO PILOTO DE ÓSMOSIS INVERSA	46
4.4 DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL	59
4.5 CÁLCULO DE PRESIÓN OSMÓTICA PARA EL PROTOTIPO	61
CAPÍTULO V. COSTO Y BENEFICIOS	
5.1 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LA PROPUESTA	65
5.2 BENEFICIOS	66
CONCLUSIÓN	68
BIBLIOGRAFÍA	69

INTRODUCCIÓN:

Este trabajo presenta la propuesta metodológica del proceso de ósmosis inversa, para lo cual se sugiere un diseño de prototipo en la Universidad de Sotavento, campus Coatzacoalcos, Ver.

Se basa en diseñar a menor costo con materiales altamente resistentes debido a la aplicación de presión, temperatura y volumen, en la filtración de ósmosis inversa, que estadísticamente tiene un 99.6% de ser efectivo en un proceso.

Se trata de la importancia del desarrollo de formación del ingeniero industrial, durante su carrera de formación, así como la relevancia del conocimiento metodológico de la formación del proceso de ósmosis inversa, para el laboratorio de ingeniería industrial.

Queda entendido que el trabajo de laboratorio es de vital importancia para el desarrollo de aplicación de las materias de procesos, por lo cual se muestran evidencias fotográficas de estudiantes que han llevado a cabo las experiencias de crear bases metodológicas para la construcción de maquetas y prototipos, que mediante la generación de semestre a semestre, continúan en operación, coadyuvando al enriquecimiento del conocimiento en sus compañeros de carrera.

Esta propuesta, es una invitación a la construcción de un nuevo prototipo, de gran importancia a nivel industrial, con la materia prima más valiosa, que es el agua y su tratamiento de recuperación por proceso de filtración, mediante membrana, por ello tiene una serie de conceptos sobre ósmosis inversa, que refuerza el marco teórico.

Se deja en evidencia mediante la investigación, la importancia que éste proceso ha tomado en universidades extranjeras y nacionales; como la Universidad de Querétaro, que ya utiliza un prototipo para generar el propio consumo de agua potable para su comunidad universitaria.

Se describen los diagramas de bloque y proceso, para visualización del equipo propuesto y los cálculos del prototipo, así como su costo y los beneficios obtenidos, no solo en materia económica sino en comparativo a adquirir un equipo didáctico sino los beneficios de formación en la ingeniería de procesos y pedagógica.

La presente investigación promueven los peldaños de una competencia, principalmente mediante de la elaboración del prototipo, con la finalidad de proponerla como parte del aprendizaje significativo de la formación integral del ingeniero, combinando la teoría con la práctica en las diversas actividades.

CAPÍTULO I
GENERALIDADES

1.1 UNIVERSIDAD Y SOTAVENTO Y LICENCIATURA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL.

La Universidad de Sotavento (US), Campus Tesoro, en Coatzacoalcos, Ver., creada en 1994, la Universidad de Sotavento, US, ofrece programas de estudios profesionales incorporados a la UNAM y la SEP.

Su oferta académica está formada por licenciaturas, estudios de posgrado y un bachillerato con especialidades técnicas.



La Universidad tiene como sistemas de calidad:

Visión

“Ser una institución educativa líder, con reconocimiento nacional e internacional que otorgue prestigio a sus egresados en su campo profesional, con el más alto nivel de calidad y excelencia académica”

Misión

“Formar profesionistas de Excelencia Académica, capaces de comprometerse con el desarrollo de su entorno con un amplio sentido analítico, creativo y humanista, que le otorgue liderazgo nacional e internacional, mediante la docencia, el conocimiento científico, la investigación, la difusión de la cultura y el deporte”

Valores Institucionales

- Honestidad
- Liderazgo
- Respeto
- Ética
- Sentido ecológico
- Calidad y Productividad
- Responsabilidad
- Lealtad
- Disciplina
- Integración familiar
- Autoestima
- Espíritu de superación
- Innovador

1.2 FORMACIÓN DEL INGENIERO INDUSTRIAL.

La US ofrece la carrera universitaria de Ingeniería Industrial la cual está incorporada a la Universidad Nacional Autónoma de México desde 1997, la cual tiene como objetivo de la carrera:

Formar profesionales capaces de integrar, diseñar, planear y organizar, así como mantener, dirigir y controlar sistemas de producción en industrias de diversos tipos, las operaciones en empresas de servicios, y en instituciones conformadas por recursos humanos, materiales y sistémicos.

Perfil del aspirante:

El aspirante a esta carrera deberá contar con una sólida formación en el área de las ciencias físico-matemáticas, a nivel bachillerato.

Es importante que tenga destreza para detectar y definir la naturaleza esencial de los problemas, habilidad para colaborar en equipo, así como para formar y dirigir grupos de trabajo.

Requiere seguridad y confianza en sí mismo, pero ante todo, actuar con responsabilidad y dedicación.

La Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) describe la carrera como: una carrera que forma al profesional altamente capacitado en el uso e identificación de tecnologías óptimas que permitan diseñar y desarrollar procesos y sistemas de toda naturaleza: operativos, productivos, financieros y administrativos, haciéndolo apto para incrementar la productividad mediante la integración de recursos humanos, materiales, técnicos y financieros, a fin de impulsar y apoyar la industria para hacerla más competitiva tanto en el mercado interno como en el externo.

El ingeniero industrial emplea métodos y modelos matemáticos, físicos, químicos y computacionales, además de técnicas y tecnologías de Ingeniería, fundamentos sólidos de administración, finanzas y dirección de empresas que le permiten optimizar los procesos industriales, comerciales y de servicios.

Para cursar la carrera de ingeniería industrial existen condiciones particulares que complementan la formación, como; dedicar tiempo completo a los estudios para cumplir de manera adecuada con las distintas actividades académicas, Investigaciones sobre temas especiales, visitas a diferentes industrias, cursos, conferencias y simposios, trabajo experimental en laboratorios y desarrollo de proyectos.

Su ejercicio profesional es variado ya que le permite desempeñarse, como ejecutivo, consultor, generador de empresas e investigador.

La ingeniería en general es una especialidad profesional que para enfrentar los nuevos desafíos requiere generar planteamientos educativos dirigidas a la formación de profesionales hábiles dentro de una sociedad que exige desarrollo y aplicación de conocimiento, a través de técnicas y prácticas responsables, con seres humanos portadores de valores, principios y actitudes que se reflejen en acciones efectivas, pero, sobre todo, humanas, encaminadas a la mejora de la sociedad.

A pesar de lo antes expuesto, hay limitaciones en la educación superior para la formación integral, desde las diferentes investigaciones ya realizadas se expresa la importancia en los conocimientos teóricos y prácticos que no permiten la armonía y coherencia entre la formación profesional y el desarrollo armónico de las dimensiones del ser humano que favorezcan la formación integral del profesional para responder a las necesidades del medio.

1.3 IMPORTANCIA DE LOS PROCESOS PARA EL INGENIERO INDUSTRIAL.

Como descripción del plan de estudios el Ingeniero Industrial es el profesionalista que posee los conocimientos de las ciencias exactas, matemáticas y de la ingeniería para desarrollar su actividad profesional en aspectos tales como la planeación, la programación, el control y evaluación de sistemas productivos, el desarrollo de nuevos modelos para eficientar el trabajo y la toma de decisiones en las organizaciones, la administración del mantenimiento, el desarrollo e implantación de cadenas logísticas y de abasto, la simulación de procesos productivos y administrativos.

Esta formación le permite participar con éxito en las distintas ramas que integran a la Ingeniería Industrial, así como adaptarse a los cambios de las tecnologías en estas áreas y en su caso generarlos respondiendo así a las necesidades que se presentan en las ramas productivas y de servicios del país, coadyuvando al bienestar de la sociedad a la que se debe.

El ingeniero industrial es requerido tanto por el sector público, como por el sector privado, asesoría, diseño, y control de sistemas productivos de bienes, servicios y docencia y en los campos de investigación.

Los procesos de producción serían inconcebibles sin el desarrollo de la Ingeniería Industrial. Implantar, operar y conservar los sistemas de producción es el objetivo de esta materia.

Un ingeniero industrial se basa en 4 pilares:

1. Análisis 2. Planeamiento 3. Diseño 4. Localización (Distribución); en conjunto los cuatro puntos anteriores se resumen en la mejor optimización posible con el fin de reducir los costos que involucre los procesos a desarrollar.

La química, entonces, trata el estudio de fenómenos químicos tales como: temperatura, elasticidad, resistencia, oxidación. Combustión, punto de fusión y/o ebullición, densidad, permeabilidad, etc.

Los fenómenos anteriores se observan y contemplan cotidianamente en cualquier tipo de industria; alimenticia, textil, química, forestal, metalúrgica, etc., en las cuales se tiene que tener un conocimiento para poder analizar el riesgo que presentan diversos elementos o reacciones que se llevan a cabo para la producción de algún producto que satisfaga las necesidades de la humanidad o que se forme directamente en la naturaleza.

Ejemplos de la aplicación y desarrollo de la ciencia química en la Ingeniería Industrial:

1. Molienda de materias primas: impacto, frotación, cortado y comprensión.
2. Transporte de Fluidos: líquidos y gases (bombas y compresores para producir energía que pueda transportarlos).
3. Destilaciones de líquidos: vaporización y condensación.
4. Cristalización de los productos: iones, átomos o moléculas establecen redes para la formación de estos.
5. Filtración: separación de sólidos en una suspensión por medio de un medio mecánico poroso.

El Ingeniero Industrial está íntimamente ligado al desarrollo de los procesos, y una parte de ello, es la importancia de la aplicación de la Ciencia Química, la cual está presente en todo el proceso uniforme en las plantas de todas las industrias, ya que en cada uno de los procesos están estrechamente relacionadas las reacciones químicas o mezclas de componentes para la transformación de la materia por lo tanto es la que nos conlleva a un producto, es por lo anterior que estos conocimientos se ven reforzados con prácticas en el estudiante de Ingeniería Industrial mediante ejercicios prácticos en laboratorio.

1.4 LABORATORIO DE PROCESOS

“El ingeniero industrial debe ser, ante todo, un ingeniero, es decir, debe ser capaz de analizar, modelar, diseñar, implementar y mejorar los sistemas complejos conformados por personas, materiales, dinero, información, máquinas, tecnología y energía, con el fin de ofrecer productos y servicios en el menor tiempo y con la mayor productividad, calidad, fiabilidad y eficiencia posible” (ABET y EUR-ACE, 2007; Chen Jiang, y Hsu, 2005; Gallwey, 1992; Maynard y Zandin , 2005).

La US tiene como apoyo, en la parte de su formación y para el desarrollo del Ingeniero Industrial, los laboratorios de física y química, en los cuales se desarrollan prácticas que fortalecen las materias de procesos químicos como lo son: química en segundo semestre, termodinámica en cuarto semestre y termo-fluido en quinto semestre.

Por lo cual los procesos químicos forman parte importante en el desarrollo de la aplicación para la formación del ingeniero industrial, y una parte del desarrollo de la química no solo son las fases de una producción, sino también la inventiva de creación de sistemas pilotos para pruebas de procesos químicos a escalas.

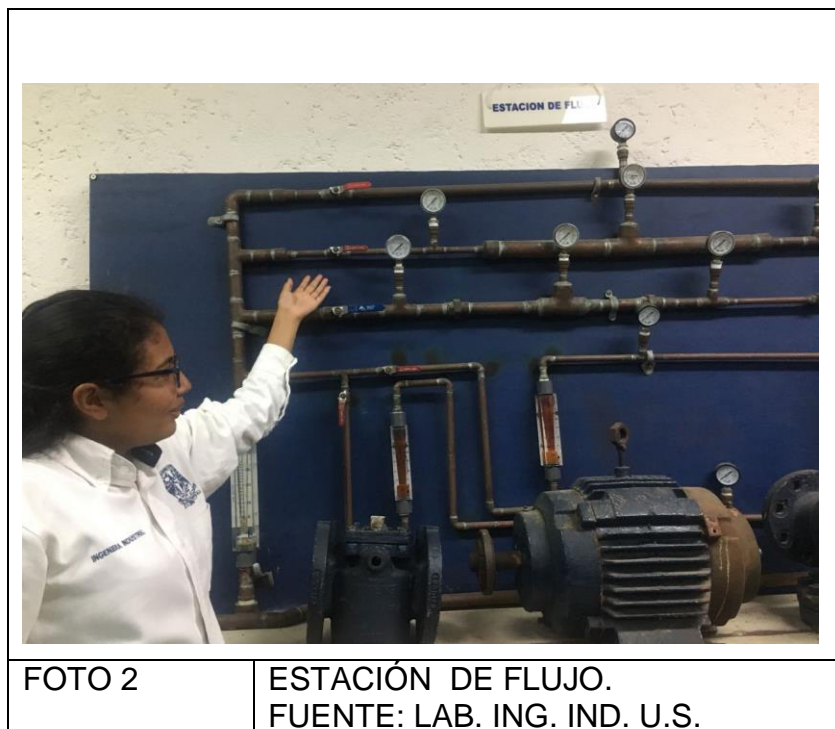
La creación de sistemas para procesos, parte medular de la preparación del Ingeniero Industrial, debe estar sustentado en metodología de investigación para

comprobación y aplicación de información científica de temas de proceso químico, tener apoyo de los docentes, para seleccionar de acuerdo al proceso de elección del estudiante, los tipos de materiales para la propuesta del proceso.

Estas actividades científicas, fortalecen la creatividad, mientras se aplica conocimiento para la construcción, primero metodológica y posteriormente en la construcción de sistemas para prácticas químicas.

La US, tiene un importante desarrollo de sistemas que son no solo construidos y estudiados por sus estudiantes de Ingeniería Industrial, sino que también se comparten con estudiantes de la región mediante ferias científicas, en donde los estudiantes de Ingeniería Industrial de diversos semestres, con dirección de sus docentes, exponen sus experiencias científicas, con apoyo de trabajos montados por ellos mismos, estas prácticas refuerzan sus conocimientos y el desarrollo de aplicación de la ciencia que a través de su conocimiento, forman mentes inquisitivas.

Las siguientes fotografías que se muestran han sido tomas de diversas exposiciones en la US, dentro de sus laboratorios.



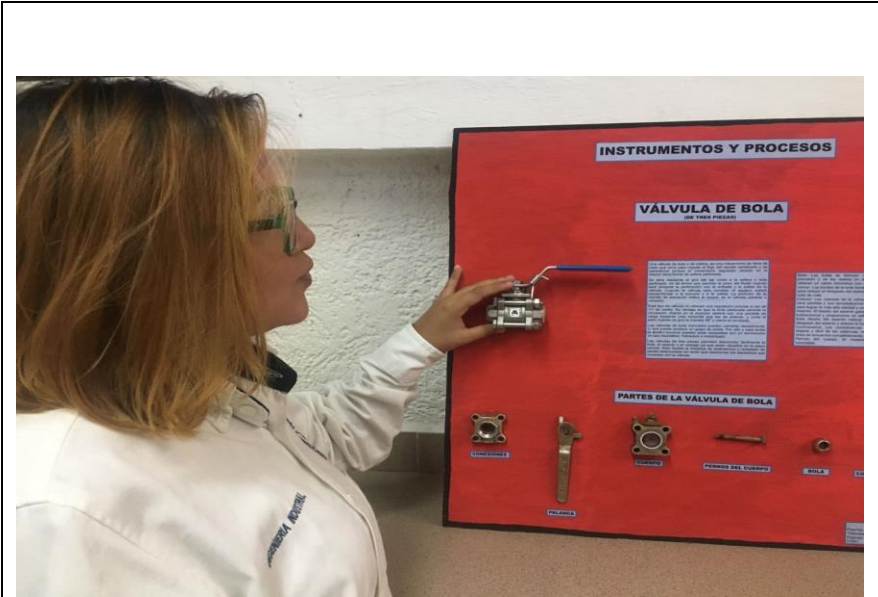


FOTO 3 | INSTRUMENTACIÓN



FOTO 4 | PROTOTIPO HIDROELÉCTRICA

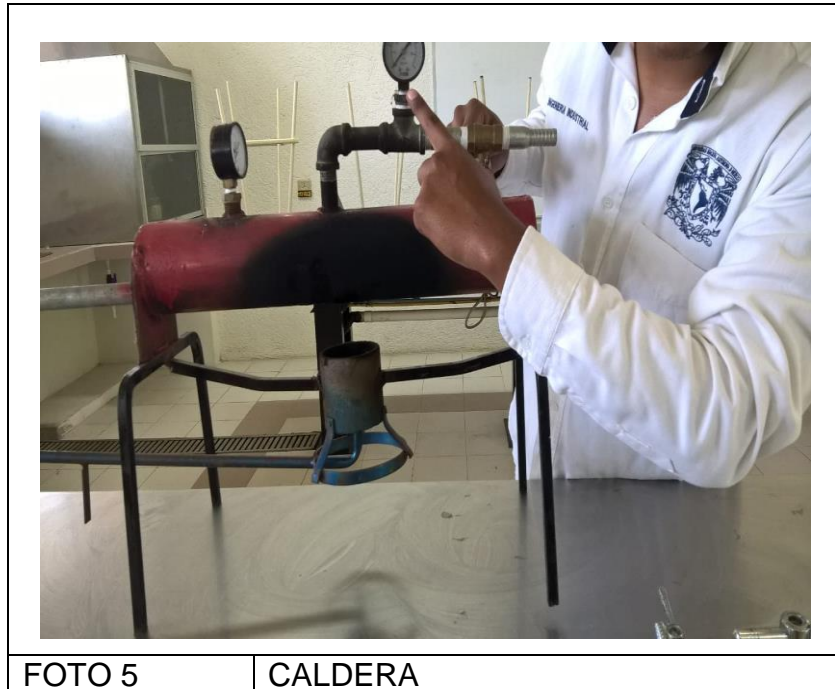


FOTO 5

CALDERA

La necesidad de contar con un laboratorio para la carrera de Ingeniería Industrial, en el que se practiquen las temáticas medulares de dicha disciplina, no es nuevo. Los ingenieros necesitan de una componente significativa de habilidades empíricas y aplicaciones prácticas de la profesión

En éste espacio se podría asumir el proceso de enseñanza-aprendizaje con la ayuda de los medios y métodos didácticos creados, contemporáneos e innovadores, específicamente aquellos que se diseñaron para apoyar el aprendizaje por medio de experiencias vivenciales, mediante el análisis de casos y la solución de problemas de procesos productivos y de servicios que coadyuvan a la formación integral del ingeniero industrial.

El laboratorio permita reforzar la formación profesional del ingeniero industrial a través de un enfoque multidisciplinario e interdependiente, que consolida los siguientes objetivos particulares.

- Desarrollar prácticas integrales de ingeniería industrial
- Simular procesos productivos y de servicios
- Fomentar el trabajo en equipo
- Desarrollar competencias en los alumnos
- Desarrollar el aprendizaje autónomo
- Proporcionar capacitación externa

- Desarrollar innovación tecnológica
- Apoyar proyectos terminales (tesis)

La práctica experimental es fundamental en la formación de un ingeniero y se requiere contar con espacios dignos, suficientes y adecuados para la docencia experimental en Ingeniería Industria, en donde alumnos y docentes de la licenciatura encuentren los recursos y el ambiente propicio para su estancia, convivencia y formación académica en espacios destinados para la actividad experimental.

Durante la práctica experimental, se logra una interacción recíproca entre el docente y el estudiante en la que se desarrollan conocimientos, habilidades y actitudes para responder con éxito en la sociedad del conocimiento.

CAPÍTULO II
MARCO TEÓRICO

2.1 ÓSMOSIS INVERSA Y SU HISTORIA.

El descubrimiento del fenómeno osmótico y los primeros estudios al respecto están unidos a la historia de la creación de las ciencias del siglo XIX, la biología, la química y la fisicoquímica. La biología como ciencia surge prácticamente en 1800, cuando Marie-François-Xavier Bichat (1771-1802) definen la vida como "un conjunto de funciones que resisten a la muerte", entendida ésta como el comportamiento inerte de la materia, además atribuía a los vegetales y a los animales un principio interno de desarrollo.

Bichat y otros biólogos de la época concibieron esta idea de la vida como un principio vital, consecuencia de un alto desarrollo de la materia inerte. Es decir, se aceptaba que los fenómenos biológicos se podían explicar por medio de la física y de la química. Bichat, quien en 1844 fundó la histología, admitió explícitamente a la química como modelo al observar que los tejidos estaban conformados por constituyentes elementales.

Entre los conocimientos básicos que formaban parte del inicio de las ciencias biológicas estaba la idea de la evolución de la vida, dándole un sentido dinámico al concepto de Bichat. En esta concepción evolutiva los cambios ocurren para contrarrestar un mundo perpetuamente amenazador en forma tal que la función y los órganos están determinados por una evolución hacia la supervivencia de las colectividades.

En el siglo XIX se dan los conflictos ideológicos que influyen fuertemente en el desarrollo científico e industrial. En lo que respecta a la biología como ciencia, la reacción de Theodor Schwann (1810-1882). Esto condujo a los fisiólogos a la observación intensa de las células y dio paso a la embriología fundamental. Con los sorprendentes avances de la histología y la embriología registrados en la primera mitad del Siglo XIX, se olvidó el científicismo de Schwann como ideología y se hizo de la biología una ciencia rigurosa. Entre los registrados biológicos en la primera mitad del Siglo XIX se encuentra el descubrimiento de la ósmosis.

La medicina experimental surgió entonces con fuerza, incorporándose la práctica de las autopsias, y Rudolf Virchow (1821-1902) introdujo la idea de que todas las enfermedades son producidas por perturbaciones activas o pasivas de las células; se declaró entonces que la salud es un conjunto de hechos regidos por leyes, identificando la medicina experimental con la fisiología, hecho que se considera establecido por Claude Bernard (1813-1878). Finalmente, Louis Pasteur (1822-1895), el padre del método experimental de la medicina, fue quien puso de

manifiesto la acción de los gérmenes, su modificación y su dominio; Pasteur es el precursor de una ciencia que confirió la precisión y puso la química al servicio de la medicina.

En la época no fue adecuado para el desarrollo de la química en Francia. Curiosamente es aquí donde ésta surgió como ciencia, mas por conflictos ideológicos, su avance definitivo se trasladó a otros países. Augusto Laurent (1807-1853), quien dio a la química su forma clásica en la primera mitad del siglo XIX, fue expulsado de la Universidad de París; un poco antes, Lavoisier había sido guillotinado. Además, la concepción positivista de la ciencia entró en conflicto con la aceptación de la teoría atomista, cuando esta última daba a la química el marco riguroso y formal de una disciplina científica.

Con todo ello, se limitó el desarrollo de la industria química en Francia, ganando la delantera los alemanes y los rusos. En Alemania, las hipótesis químicas se comprobaban directamente en laboratorios afiliados a fábricas de producción industrial y gracias a ello, en el último tercio del siglo se abrió paso la química orgánica.

A finales del siglo XIX, el desarrollo de la química recibe en Rusia un decisivo impulso con los trabajos de D. I. Mendeleiev (1834-1907), quien da a conocer la clasificación periódica de los elementos. Este descubrimiento impuso en la comunidad científica europea un gran esfuerzo de comprensión y análisis de datos y, sobre todo, una disciplina científica en la que dominaba el sentido de la objetividad de la naturaleza y descartaba el sentido positivista de la época. Esto ocurrió porque el significado capital que aportaba la tabla de Mendeleiev no era comprendido por los químicos contemporáneos y, en cambio, sí requería de una modificación radical de los principios de la organización de la materia.

Este espíritu fue el que posteriormente dominó la física atómica de principios del siglo XX y que permitió la evolución hacia la química cuántica. La fisicoquímica por su parte surge como ciencia a finales del siglo XIX y es el resultado de las investigaciones de la dinámica de las reacciones termoquímicas, la catálisis, la electrólisis y, sobre todo, la física de soluciones. Todo ello se conjuga con la aceptación de la teoría atomista.

A principios del siglo XIX los químicos pretendían dar una explicación al comportamiento de los gases a través de sus experimentos en los estudios era la comprensión del átomo. Thomas Graham (1805-1869), padre de la química de los coloides, junto con François Marie Raoult (1830-1901), fundador de la Teoría de las Soluciones.

Los estudios de estos elementos coinciden con la corriente de estudio de los científicos, quienes estaban preocupados por entender los procesos de transporte en las plantas y los animales, cuyas investigaciones fueron decisivas para el descubrimiento de la ósmosis. Las dos corrientes, tanto el estudio de los gases y las soluciones.

El descubrimiento de la difusión fue realizado por Graham mediante experimentos efectuados entre los años de 1828 y 1833. Graham descubrió la difusión de los líquidos y estuvo muy cerca de emitir la ley que ahora conocemos como Ley de Fick, pero Graham no acertó, porque la Ley de Fick implica una relación lineal entre el flujo de difusión y la diferencia de concentraciones que produce dicho flujo; él buscaba una relación más complicada o espectacular como la que encontró en otro de sus experimentos con gases, en los que Graham había demostrado que el flujo de difusión de un gas a través de un tapón poroso es inversamente proporcional a la raíz cuadrada de las densidades de los gases empleados

Tan impresionante fue este resultado para su época, que le valió su elección para ingresar a la Royal Society a la edad de treinta años. Así estaban las cosas cuando entró en escena Adolf Eugen Fick (1829-1901), fisiólogo alemán de reconocido prestigio científico.

Fick participaba del espíritu cientificista de la época y pretendía combinar las matemáticas con la medicina, para señalar que las ciencias básicas deben ser usadas para fundamentar la medicina.

Estos conceptos de Fick fueron influenciados por Carl Ludwig (1816-1895). Los estudios de la difusión los realizó Fick en Zurich en 1855 cuando tenía 26 años de edad. Este investigador planteó los experimentos de Graham sobre bases cuantitativas y descubrió la ley de la difusión un tanto casualmente. Esto ocurrió cuando Fick sugirió en su publicación una comparación de la difusión de un material disuelto con la Ley de Ohm para conductores eléctricos y también con la ley de la transferencia de calor en conductores sometidos a una diferencia de temperaturas, esta confrontación daba la clave para la formalización matemática de la difusión.

Fick sólo sugería una Ley, haciendo notar que la presencia de un flujo de difusión es debido a una diferencia de concentraciones, de tal manera que las dos cantidades son directamente proporcionales y, la constante de proporcionalidad es, precisamente, una cantidad que depende de la naturaleza de las sustancias empleadas.

Esta constante es similar a la resistencia eléctrica, que relaciona la diferencia de potencial entre dos puntos y el flujo de corriente presente entre ellos. Sin embargo, fue la analogía con la ley de difusión del calor como Fick trató de demostrar que efectivamente la difusión molecular seguía el mismo patrón matemático. Fick encontró en esta formulación la clave para expresar la ley del flujo de difusión, que se ajustaba a una descripción muy exacta de algunos de los experimentos de la difusión.

Pero después de todo, su triunfo no fue completo, porque surgió una dificultad relacionada con los datos de Graham, los cuales seguían un comportamiento no lineal, y mostraban que la analogía de la difusión con la conductividad térmica no era muy exacta.

Para aclarar este punto, motivo de polémica, Fick se puso a trabajar de nuevo en el laboratorio repitiendo los experimentos de Graham e, ideando un nuevo método para demostrar dónde estaba la discrepancia descubrió que residía en la geometría de los dispositivos experimentales que usó Graham, los cuales introducen efectos de fronteras (efectos de paredes), desvirtuando la relación lineal válida para un medio homogéneo

Con lo anterior, el camino para la aceptación plena de la Ley de Fick quedaba establecido. La presentación de los trabajos de Fick causó conmoción inmediata en la comunidad científica. Sus trabajos fueron realizados con tal discreción que cuando los dio a conocer se encontró de súbito con que el tratamiento cuantitativo de la difusión ya estaba hecho.

No obstante estos progresos, tanto los experimentos de Graham como los conceptos derivados del tratamiento de Fick no quedaban aclarados del todo debido a que el concepto mismo de flujo de difusión era impreciso y provocaba grandes confusiones cuando se relacionaba con experimentos donde había agitación masiva de un gas o de un líquido.

Este asunto fue vivamente discutido en 1860 por toda la comunidad científica interesada, y fue J. C. Maxwell (1831-1879) quien dio la clave de la solución al problema, al señalar que la difusión se debe tanto al movimiento de translación de las moléculas como a la agitación masiva en un movimiento convectivo así, Maxwell introdujo el concepto de velocidad relativa, donde el flujo de difusión debe definirse.

El descubrimiento de la ósmosis es anterior al de la difusión, antecedida ésta a su vez, por un mundo reinante de confusiones. La primera luz es dada en

1748 por J. A. Nollet (1700-1770) cuando era profesor de física experimental en la Universidad de Navarra. Nollet obtuvo una membrana de vejiga animal, colocando alcohol de un lado y agua del otro, y observó que el agua fluía a través de la vejiga para mezclarse con el alcohol, pero de ninguna manera el alcohol se mezclaba con el agua.

Lo que Nollet descubrió fue la existencia de membranas semipermeables, ya que permitían el paso de uno de los componentes de una solución y evitaba la difusión de otros. Generalmente las sustancias son capaces de atravesar una membrana solvente de una solución y la que no puede fluir a través de ella es conocida como soluto. Se recomienda al lector puntualizar la distinción entre soluto y solvente porque será terminología corriente en muchas de las discusiones futuras.

El descubrimiento de la ósmosis en membranas semipermeables fue realizado por Henri Dutrochet (1776-1847), considerado como uno de los grandes fisiólogos del siglo XIX, quien también tiene relación con las primeras observaciones que condujeron al descubrimiento de la fotosíntesis. Al igual que Fick y Ludwig, Dutrochet profesó la creencia de que las leyes fundamentales de la física y de la química explicaban todos los procesos básicos de la vida. Aseguraba que debía haber similitudes en los procesos físicos y químicos de todos los organismos, fueran plantas o animales; esto debía ser, decía él, para hacer posibles las explicaciones a partir de principios fundamentales.

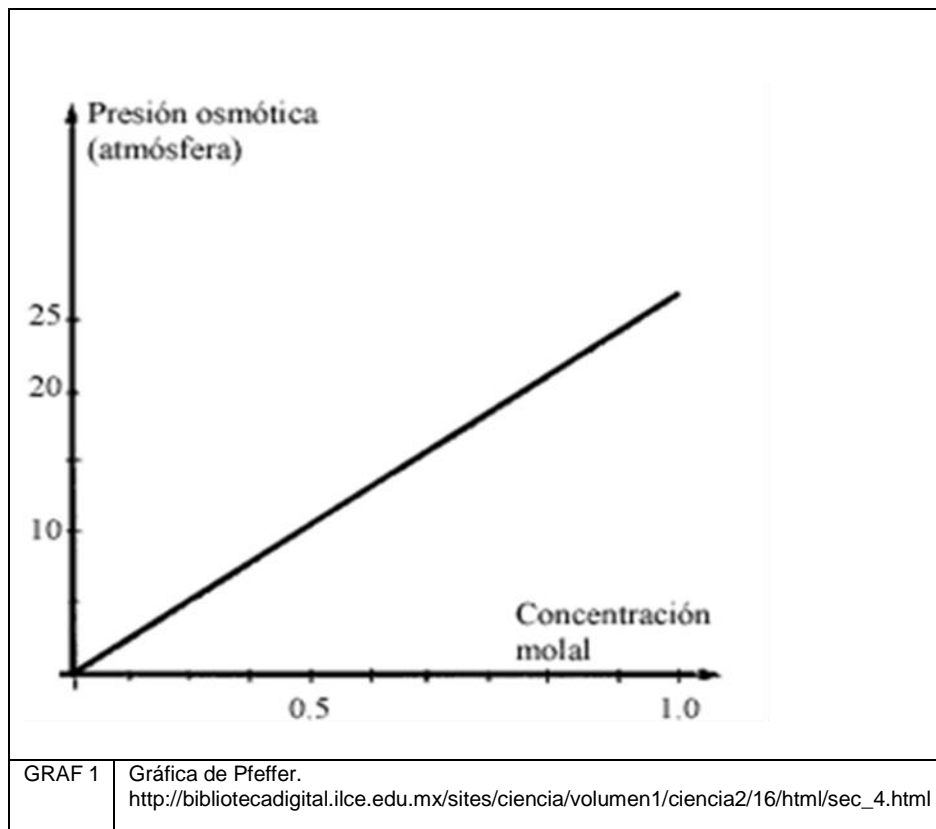
Dutrochet descubrió el fenómeno de la ósmosis cuando observó que la difusión del solvente a través de una membrana semipermeable ocurría siempre de la solución de menor concentración de un soluto, que no puede pasar, hacia la solución de mayor concentración; además, el solvente que fluye es capaz de desarrollar una presión sobre la membrana a la que denominó presión osmótica. Dutrochet construyó el primer dispositivo experimental para observar la presencia de la presión osmótica.

Con lo anteriormente expresado Dutrochet daba la pauta para la concepción de una célula viva rodeada de una membrana semipermeable que absorbe agua de sus alrededores a través del flujo osmótico, al mismo tiempo que se interrumpe la difusión de ciertas sustancias de la solución. No obstante la importancia de este descubrimiento, la medida cuantitativa de la presión osmótica fue elaborada 50 años más tarde, en 1877, por el botánico Wilhelm Pfeffer (1845-1920).

Pfeffer es otro de los fisiólogos que son mencionados junto a su maestro Julius von Sachs (1832-1897), en relación al descubrimiento de la fotosíntesis. Pfeffer no utilizó en sus experimentos membranas biológicas sino artificiales, preparadas en el laboratorio por medio del depósito de un electrolito, de ferrocianuro de cobre sobre un dispositivo poroso. En ese entonces, las membranas artificiales habían sido descubiertas por Troube en 1867 y usadas extensivamente entre 1870 y 1920. Con estas membranas se consiguieron medidas aceptables de la presión osmótica de soluciones de azúcar y de algunas moléculas orgánicas, lográndose presiones osmóticas de un poco más de 200 atmósferas.

Pfeffer utilizó agua como solvente y sacarosa como soluto, la presión osmótica de una solución es directamente proporcional a su concentración. Ahora bien, Pfeffer desarrolló este experimento a temperatura constante y concluyó que si modificaba la temperatura, utilizando la misma solución (sin cambiar la concentración), la variación de la presión osmótica también era directamente proporcional a la temperatura. Este comportamiento de la presión osmótica es idéntico al de un gas ideal.

La Gráfica uno; muestra los resultados del experimento de Pfeffer donde se observa la presión osmótica de una solución de sacarosa en agua a 20°C.



J. H. Van't Hoff (1852-1911) fue quien aventuró una interpretación comparativa de la presión osmótica con la presión ejercida por un gas. De esta forma, el estudio de la ósmosis se escapa de las manos de los fisiólogos y cae en las de los fisicoquímicos. Primero Van't Hoff y luego Josiah Willard Gibbs (1839-1903) contribuyeron a dar unidad a la teoría de las soluciones que incorpora el comportamiento osmótico como una de las propiedades de las soluciones. Esta teoría también integra los trabajos realizados por Raoult entre los años de 1875 y 1890.

La teoría de Van't Hoff nace en 1886., a consecuencia de la formalización de la teoría de las soluciones, las leyes de Raoult se daban como hechos empíricos, lo mismo que la ley de la ósmosis; de manera que la conexión que hizo Van't Hoff entre la ósmosis y la teoría cinética impresionó muchísimo a la colectividad y fue considerada como una de las explicaciones más sugestivas de su época.

Tales ideas sobre la interpretación de la presión osmótica ganaron gran popularidad. Sin embargo, fueron abandonadas por la comunidad científica a principios del siglo XX por considerarse erróneas.

La presión osmótica no es el resultado del choque de las moléculas de la sustancia disuelta contra un tabique poroso, sino que su interpretación debe apreciarse como la presión necesaria para compensar un déficit energético que se produce por la disolución espontánea del soluto en el solvente.

En la teoría de Van't Hoff queda entendido dentro de la teoría termodinámica química dada por Gibbs. Es necesario hacer notar que el siglo XIX concluye con la aparición de la fisicoquímica como ciencia. Esta establece, como se ha comentado, la teoría de las soluciones en general, así como las relaciones entre el equilibrio y las condiciones exteriores de un sistema termodinámico

2.2 QUÉ ES LA ÓSMOSIS INVERSA Y SU IMPORTANCIA EN LA INDUSTRIA.

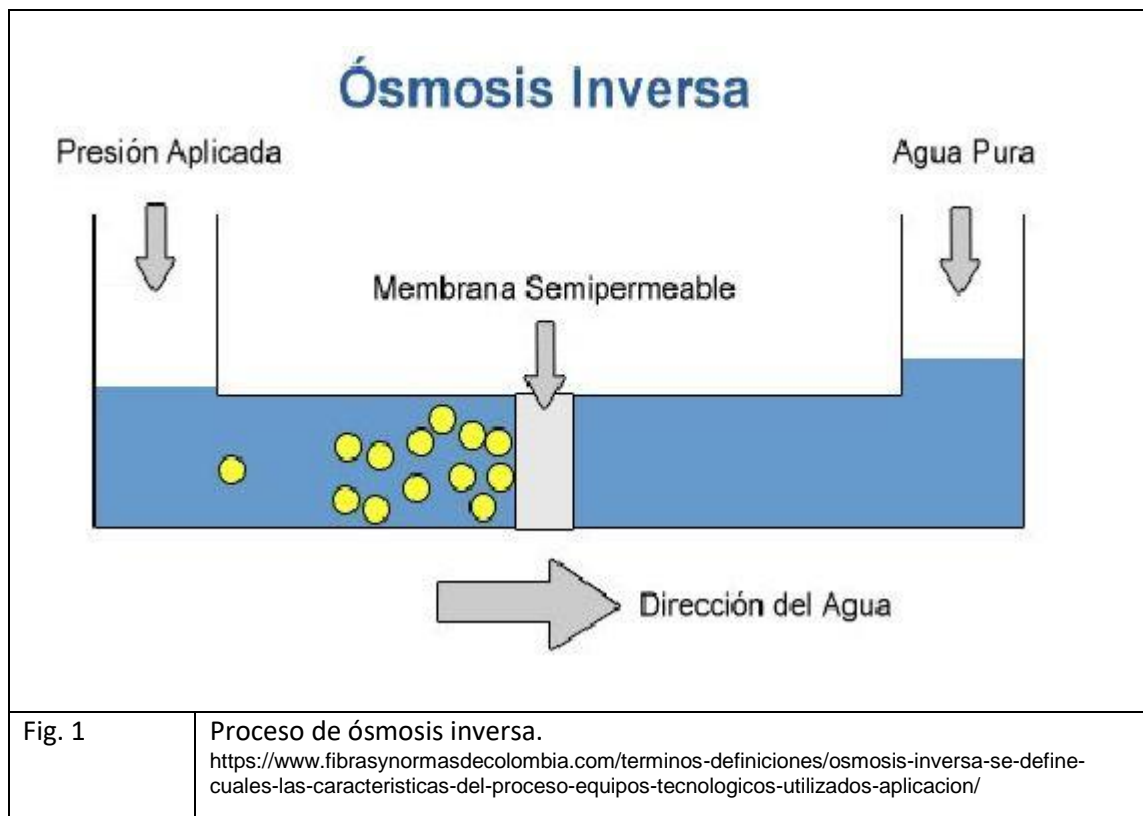
El fenómeno de ósmosis normal o también llamada directa, representa la respuesta de un sistema discontinuo cuando dos recipientes con solución a diferentes concentraciones se ponen en contacto por medio de una membrana semipermeable.

El flujo osmótico se origina del recipiente de solución diluida al recipiente de solución concentrada. Es un proceso espontáneo para llevar el sistema a su estado de

equilibrio. Ello ocurre cuando el flujo osmótico eleva una columna de líquido sobre la solución concentrada, cuyo peso produce la presión osmótica de equilibrio.

La Segunda Ley de la Termodinámica asegura que este proceso es irreversible, en vista de que para reintegrar el sistema a su estado inicial tiene la necesidad de realizar un trabajo mecánico neto.

Esta labor mecánica se realiza en la solución concentrada, de tal manera que el flujo del solvente ocurre en dirección opuesta al flujo osmótico original. Para que se realice, es obligatorio que la presión aplicada tenga un valor mayor a la diferencia de las presiones osmóticas entre los recipientes, la Figura uno; muestra el proceso de ósmosis inversa.



El proceso de ósmosis inversa fue propuesto por primera vez por Charles E. Reid en 1953 para obtener agua potable del agua de mar. La propuesta de Reid fue sometida a la consideración de la Oficina de Aguas Salinas de EUA y surgieron algunas objeciones, una de ellas consideraba a la ósmosis inversa como un proceso impráctico y que en caso de funcionar sería una curiosidad de laboratorio.

La duda más seria a la propuesta de Reid fue cuando se hizo ver que el estado del arte carecía de una membrana adecuada para realizar eficientemente el proceso de ósmosis inversa. En efecto, Reid se enfrascó en un problema mayúsculo para conseguir la membrana que tuviera la capacidad de realizar ese proceso.

Las dificultades básicamente eran las siguientes:

- Carencia de una membrana que resistiera químicamente las soluciones salinas.
- Las membranas eran muy poco porosas para permitir el libre tránsito del solvente (agua pura) y demasiado abiertas para tener un adecuado coeficiente de reflexión de Staverman (bajo rechazo de sales).

La solución del problema de la separación de agua pura a partir de agua de mar o salobres fue resuelta por el descubrimiento de la membrana de acetato de celulosa por el mismo Reid y E. J. Breton en 1959. A este descubrimiento siguió otro efectuado por S. Loeb y S. Sourirajan en los años de 1960 a 1962 al demostrarse que la membrana de Reid y Breton mejoraba considerablemente el flujo de solvente y rechazo de sales, si la membrana se hacía asimétrica en lugar de homogénea.

Luego se supo, por observaciones al microscopio electrónico, que la asimetría en la membrana de Loeb y Surirajan se debía a la presencia de una delgada película de polímero en fase amorfa con secciones cristalinas sobre la superficie de la membrana.

Esta película es la parte activa de la membrana y responsable de la exclusión de los solutos. El cuerpo restante de la membrana sirve de soporte y es una estructura polímero esponjada altamente porosa. Con este tipo de membrana se realizó eficientemente el proceso de ósmosis inversa, acallando a los que pensaron que esa inversión nunca funcionaría.

A pesar de este triunfo tecnológico, el precio que se paga es alto, por el costo elevado de energía que cobran las irreversibilidades. En un principio se creyó que el proceso de ósmosis inversa sería altamente eficiente, pues se pensó que bastaría con exceder la presión osmótica del sistema para lograr la inversión osmótica.

Aquí no se tomaba muy en cuenta la Segunda Ley de la Termodinámica debido a que se requiere un trabajo extra para su funcionamiento en contra de

irreversibilidades y entre más lejos del equilibrio se opere, mayor será ese costo extraordinario de energía.

En efecto, resultó que el funcionamiento de dicho efecto requiere de la aplicación de una presión mucho mayor (4 ó 5 veces mayor) al valor de la presión osmótica efectiva e invertir energías 10 veces más que la requerida, si el proceso fuera reversible, por ejemplo, la presión osmótica del agua de mar es de 24 atmósferas, mientras que los equipos que obtienen agua potable a partir de agua de mar operan con presiones de 100 atmósferas o mayores. Ello implica costos de equipo y mantenimiento elevados.

Uno de los logros de la década de los años sesenta fue hacer económica la aplicación de la ósmosis inversa en la obtención de agua potable a partir de aguas salobres y de mar, al entrar francamente en competencia con otros sistemas de separación de pequeña o gran escala. Esta posibilidad fue una consecuencia de la perfección de la membrana de acetato de celulosa y un entendimiento más claro de los procesos de interacción de una solución salina con dichas membranas.

En esta década se consiguió comprender los efectos de compactación y de oclusión de las membranas bajo operación, así como percibir la necesidad de tratamientos bioquímicos del agua de alimentación, por la presencia de microorganismos que utilizan a la membrana como nutriente. En particular, el conocimiento de la capa de polarización como efecto adverso fue decisivo en los avances anteriores.

Este efecto se ha señalado como el recíproco del osmótico y es causa de la formación de una capa de iones cuando durante el tránsito del flujo volumétrico se acumulan solutos que no pueden pasar y se concentran a la entrada de la membrana.

Esta capa de iones salinos eleva la presión osmótica local de la solución frente a la membrana y por lo mismo aumenta la presión de operación para mantener un flujo del solvente. La eliminación de este efecto adverso fue determinante en el diseño de los módulos que sirven de apoyo a la membrana, en vista de que para eliminar esa capa de polarización se utiliza la agitación convectiva, provocando un flujo turbulento en la solución alimentadora. De esta manera, las celdas donde las membranas ejecutan la separación presentan diseños geométricos de manera que los flujos sean violentos (altos números de Reynolds).

En los sesenta fue la elaboración de modelos que interpretaban los procesos de transporte de una membrana. Entre otras, están las aportaciones de H. K. Lonsdale, U. Merten y R. L. Riley en 1965. El año siguiente se conocen las contribuciones de Spiegler y Kedem, Gradzinski y Kedem, Mears y Merten. Estos modelos siguen los lineamientos teóricos dados por Kedem Katchalsky en 1958 y

predicen relaciones entre distintas variables del sistema, como los flujos de soluto y solvente, porcentaje de rechazo, espesor y permeabilidad de la membrana.

Esto permitió un manejo adecuado de los parámetros de diseño en la construcción y verificación de plantas de prueba o pilotos y luego su comercialización en plantas del orden industrial. En la década de los años sesenta, el estudio y aplicación de la ósmosis inversa se relacionó con la desalación de aguas salinas y del tratamiento de aguas de reúso, como la purificación de agua de desechos industriales y de drenaje.

Por otra parte, en la década de los setenta se consiguió un conocimiento más detallado sobre el funcionamiento de la membrana; en particular se discutió el mecanismo por el que una membrana de acetato de celulosa permite el paso del solvente e impide el tránsito de los solutos.

El fenómeno de la causa de la selectividad de una membrana fue discutido primeramente en los trabajos de Reid y Breton en 1959, constituyendo una constante preocupación en las explicaciones físicas de los modelos de la década anterior. Algunos puntos se establecieron en la década de los sesenta y aparecen en nuestra época como un conocimiento fraccionado.

Algunas teorías han formulado una explicación sobre la causa del fenómeno de la selectividad de una membrana, sin que existan correlaciones de observaciones experimentales donde se observe claramente la influencia de las propiedades de las estructuras poliméricas.

Este problema al parecer no está resuelto y pone de relieve la necesidad de estudiar a nivel fundamental la interacción de una solución electrolítica con un material polimérico. La información básica que se obtiene del mecanismo de la selectividad en la década de los sesenta, es su relación con la presencia de grupos químicos o radicales en las cadenas poliméricas en el material de la membrana.

Estos grupos químicos rechazan los iones por acciones electromagnéticas, a la vez que se permite el acceso de las moléculas de agua por propiedades hidrofílicas de la membrana; es decir, el agua es absorbida por el material polimérico y transmitido de un punto a otro por influencia de transiciones en los puentes de hidrógeno; esto ocurre cuando no hay espacios porosos para un flujo volumétrico. De manera que se confirma la importancia de aglutinar centros de rechazo en la superficie de una membrana hidrofílica.

El conocimiento de estos mecanismos de selectividad permitió predecir el comportamiento de las membranas en variadas aplicaciones. También aparecieron nuevas membranas utilizando tipo de polímeros que presentan más ventajas en comparación con las de acetato de celulosa. En esta década de los setenta, se logró las membranas en relación a procesos de separación y el mecanismo de acción a su vez relacionada con su estructura.

La ósmosis y la ósmosis inversa son dos fenómenos que se producen de forma natural en el interior de los seres vivos.

Por ejemplo, mediante la ósmosis las células de nuestro organismo, que están envueltas por una membrana semipermeable, permiten el paso de nutrientes dentro y fuera de la célula, favoreciendo así tanto la incorporación de nutrientes necesarios para el metabolismo celular, como la expulsión de los desechos del mismo.

Características del proceso:

La técnica de ósmosis inversa, ha evolucionado ampliamente en las últimas décadas y ha pasado de ser una tecnología emergente a ser un proceso consolidado, eficiente y competitivo. No obstante, ¿en qué consiste exactamente la ósmosis inversa? Para contestar a esta cuestión, primero analizaremos en qué consiste el proceso de ósmosis.

Teniendo en cuenta estas premisas podemos decir que la ósmosis; es una operación de equilibrio en la que moléculas de un solvente son capaces de atravesar una membrana permeable para diluir una solución más concentrada.

Si se dispone de un equipo como el de la figura 2 (a), en el que dos soluciones de diferente concentración de sal y que se encuentran a presión atmosférica están separadas por una barrera física, en el momento en que se retira la barrera que las separa, se produce una difusión de forma natural y se igualan las concentraciones de ambas soluciones, momento en el que se llega al equilibrio.

Al principio, habrá un flujo que será mayoritario e irá de la solución más diluida a la más concentrada, pero a medida que las concentraciones se vayan igualando, los flujos también se irán emparejando y el flujo neto será cero.

En la figura 2 (b), se dispone del mismo montaje experimental, pero ahora las dos soluciones están separadas por una membrana semipermeable, la cual deja pasar a través suyo el solvente, pero no los iones ni moléculas de mayor tamaño.

En este caso se vuelve a producir el fenómeno de la ósmosis, el solvente de la solución más diluida atraviesa la membrana hacia la solución más concentrada.

En cambio, los iones de la solución más concentrada, al no poder atravesar la membrana, quedan confinados. Como resultado de esta transferencia de solvente de un lado al otro de la membrana, en la parte superior de los tanques se observa como el nivel de ambas soluciones ha variado. Mientras que el nivel de la solución más diluida ha disminuido, el nivel de la solución más concentrada ha aumentado.

Una vez el flujo se ha parado figura 2 (c), y el nivel de los dos tanques ya no varía más en relación con el tiempo, el sistema ha llegado al equilibrio.

La diferencia de niveles de líquido entre los dos tanques genera una presión hidrostática que equivale exactamente a la presión osmótica. De hecho, la presión osmótica se define como la presión hidrostática necesaria para detener el flujo de solvente a través de una membrana semipermeable que separa dos soluciones de diferente concentración.

Si cuando el solvente está fluyendo de la solución más diluida a la solución más concentrada, con el objetivo de igualar las dos concentraciones, se ejerce una ligera presión en la solución de mayor concentración, el flujo a través de la membrana disminuye.

Si se aumenta paulatinamente la presión ejercida, se llega a un punto en el que el flujo a través de la membrana es cero, es decir, el solvente deja de atravesar la membrana. La presión que se está ejerciendo en ese momento es igual a la presión osmótica. Y si se incrementa la presión ejercida, como en la figura 2 (d), el flujo se invierte y el solvente atraviesa la membrana en la dirección contraria, es decir, pasa del lado de la solución más concentrada al lado donde se encuentra la solución más diluida. Este proceso recibe el nombre de ósmosis inversa.

Así pues, la ósmosis inversa consiste en separar el solvente de una solución concentrada, que pasa a través de una membrana semipermeable, mediante la aplicación de una presión, la cual deberá ser, como mínimo, superior a la presión osmótica. Cuanto mayor sea la presión aplicada, mayor será el flujo de permeado a través de la membrana.

Este proceso es especialmente atractivo por la elevada selectividad de las membranas, las cuales permiten el paso del solvente, pero apenas pueden pasar los iones y moléculas de pequeño tamaño disueltas en la solución.

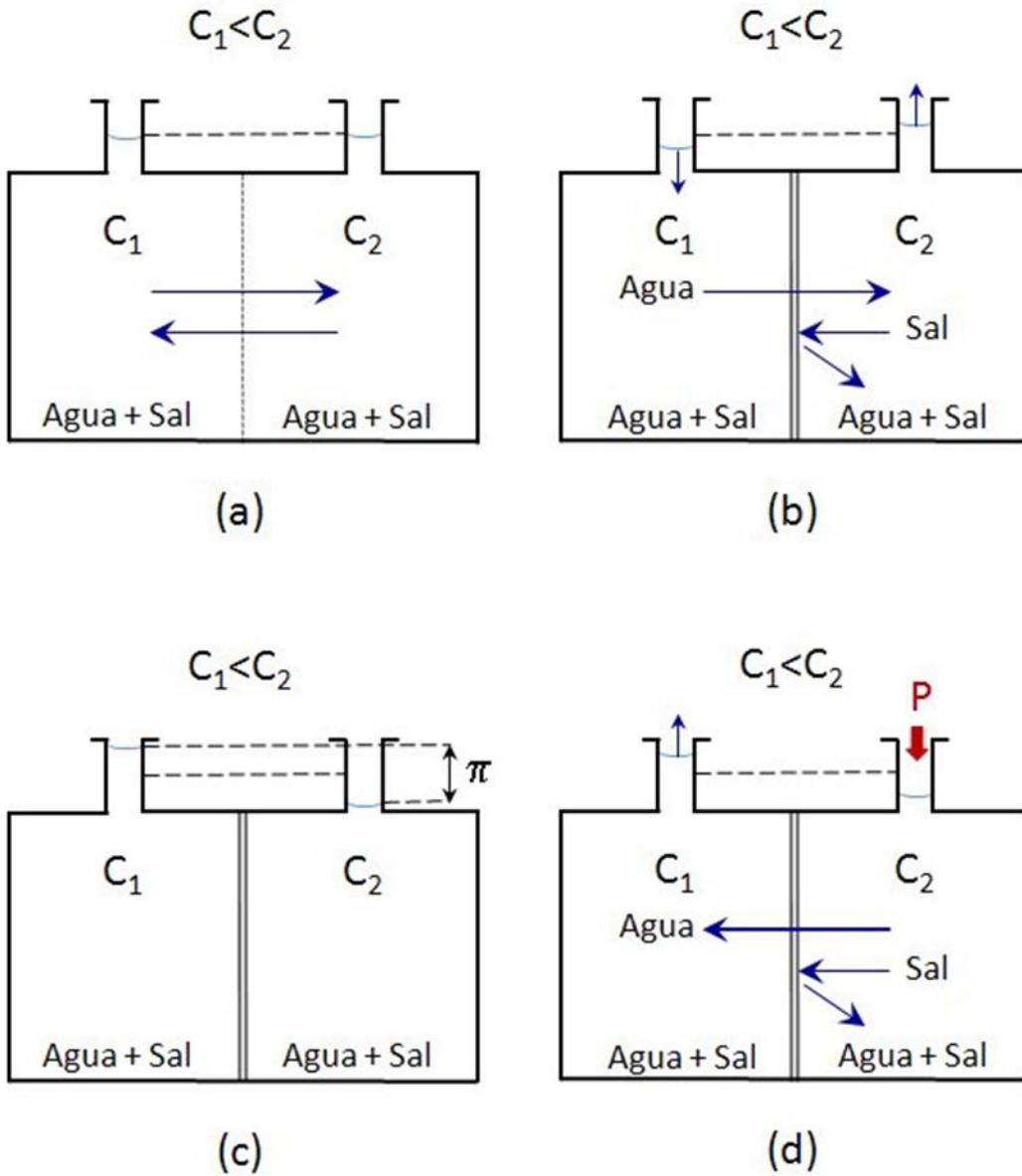


Fig. 2(a),(b),(c),(d)

Proceso de ósmosis inversa

<https://blog.condorchem.com/img/di--grama-osmosis-inversa.jpg?x87665>

Para que las fases ocurran satisfactoriamente la membrana es una parte vital del proceso, ya que para separar un solvente de los solutos que lleva disueltos, puesto que, aplicada al agua, la membrana permite la separación del 95% de las sales disueltas, lo cual permite la desalinización de aguas salobres o de aguas de mar.

Las membranas semipermeables, que dejan pasar selectivamente el solvente e impiden el paso a los solutos, desempeñan un papel clave en el proceso. Las primeras estaban fabricadas con acetato de celulosa, pero después las de poliamida han desplazado a las primeras, al permitir controlar el tamaño de poro y la permeabilidad.

Las membranas son poco permeables a los iones y a las moléculas con cargas electroestáticas; a mayor carga, mayor será la retención. Por el contrario, los gases disueltos (oxígeno, dióxido de carbono, cloro, etc.) tienen una buena permeabilidad, igual que las moléculas orgánicas neutras de bajo peso molecular.

El factor principal que amenaza la productividad de la membrana es su gradual ensuciamiento, éste ensuciamiento es un problema específico de la membrana.

Este se puede producir por diversos motivos, siendo los más comunes:

1. Los depósitos en la superficie de la membrana de escamas o costras de carbonato cálcico, sulfato cálcico, silicatos complejos, sulfato de bario, sulfato de estroncio, fluoruro cálcico, etc., dependiendo de la composición de la alimentación y como consecuencia de que las concentraciones de sal en el concentrado puedan sobrepasar el producto de solubilidad de la sal.
2. Los sedimentos de partículas como coloides, productos de la corrosión del hierro de las conducciones, precipitados de hidróxido de hierro, algas, etc.
3. El bioensuciamiento debido al crecimiento de microorganismos en la superficie de la membrana, ya que algunos materiales de las membranas, como el acetato de celulosa o las poliamidas, pueden ser un sustrato utilizable por los microorganismos.
4. El ensuciamiento debido a compuestos orgánicos como aceites o grasas presenten en las aguas residuales industriales.

La forma de limpieza de las membranas depende de las características del agua de alimentación, del tipo de membrana y de la naturaleza del ensuciamiento. Como

pauta general se puede proceder a alternar periodos de enjuagado de las membranas, haciendo circular las soluciones limpiadoras a alta velocidad por la superficie de las membranas, con periodos donde las membranas queden sumergidas en las soluciones limpiadoras.

Los agentes de limpieza habitualmente utilizados son:

1. Ácidos clorhídrico, fosfórico o cítrico y agentes quelantes como EDTA, para eliminar las costras de precipitados salinos, y ácido oxálico para eliminar los sedimentos de hierro.
2. Alcalis combinados con surfactantes para eliminar microorganismos, sedimentos y compuestos orgánicos.
3. Esterilización de las membranas con soluciones de cloro para eliminar los microorganismos.

Las sucesivas limpiezas terminan por degradar las membranas. Dependiendo de la aplicación, el periodo de vida garantizado por el fabricante suele ser de 1 – 2 años. Con un buen programa de limpieza la vida de las membranas se puede prolongar hasta 3 años, siendo improbables periodos de vida de 5 años.

Generalmente, para alargar la vida de las membranas se suele pretratar el agua de alimentación. Es habitual que, como pasos previos a la ósmosis inversa, primero se lleve a cabo una filtración y después una ultrafiltración, siempre dependiendo de la cantidad de sólidos en suspensión que lleven las aguas a tratar.

Aplicaciones generales.

El objetivo de las plantas instaladas se distribuye de la siguiente forma:

50 % en desalinización de agua de mar y agua salobre

40 % en la producción de agua ultrapura para las industrias electrónica, farmacéutica y de producción de energía

10 % como sistemas de descontaminación de aguas urbanas e industriales.

Desalinización de aguas salobres.

La salinidad de este tipo de aguas es de 2000 mg/L – 10000 mg/L. En su tratamiento se utilizan presiones de 14 bar – 21 bar para conseguir coeficientes de rechazo superiores al 90 % y obtener aguas con concentraciones salinas menores de 500 mg/L, que son los valores recomendados por World Health Organization (WHO) como condición de potabilidad.

Las plantas de tratamiento de aguas salobres utilizan módulos de membranas enrolladas en espiral. Se estima que los costes de capital de este tipo de plantas son del orden de 0.25 \$US/L de agua tratada/día, siendo los costes de operación del mismo orden.

Las aplicaciones industriales de esta tecnología son tan variadas como indispensables.

Entre los usos y aplicaciones más utilizadas se encuentran las siguientes:

Desalinización de agua de mar.

Dependiendo de la zona geográfica, la salinidad de este tipo de aguas es de 30000 mg/L – 40000 mg/L. Para conseguir condiciones de potabilidad se utilizan membranas de poliamida de tipo fibra hueca que permiten conseguir coeficientes de rechazo superiores al 99.3 % con presiones de trabajo de 50 bar – 70 bar.

Los costes de operación de este tipo de plantas de tratamiento se estiman en 1 – 1.25\$US/L de agua tratada/día, lo que hace que este sistema de tratamiento no sea competitivo, frente a otros sistemas como los procesos de evaporación multietapa, si las necesidades de agua superan los 40000 m³ de agua tratada/día.

Producción de agua ultrapura.

La ósmosis inversa permite obtener a partir del agua de consumo (concentración de sólidos disueltos < 200 mg/L) agua de la calidad exigida en la industria electrónica.

El principal problema en este tipo de instalaciones es el bioensuciamiento de las membranas, por lo que es necesaria la instalación de sistemas de esterilización mediante radiación UV.

Tratamiento de aguas residuales.

Esta aplicación de la ósmosis inversa está limitada por los altos costes de operación debido a los problemas de ensuciamiento de las membranas.

En el caso de las aguas residuales industriales, la ósmosis inversa se utiliza en aquellas industrias donde es posible mejorar la economía del proceso mediante la recuperación de componentes valiosos que puedan volver a reciclarse en el proceso de producción: industrias de galvanoplastia y de pintura de estructuras metálicas, o donde la reutilización del agua tratada signifique una reducción importante del consumo de agua, como en la industria textil.

En el caso de las aguas urbanas, la ósmosis inversa es un tratamiento que estaría indicado como tratamiento terciario, siendo posible obtener agua con una calidad que la hiciese apta para el consumo, con un coste de 0.5 – 0.75 \$US/m³.

El principal problema para la consolidación de este tipo de tratamiento es la contestación social. Sin embargo, en zonas de Japón y California, donde existen limitaciones extremas de agua, se están utilizando plantas de ósmosis inversa para tratar el agua procedente del tratamiento biológico de las aguas domésticas, empleándose el agua tratada por ósmosis inversa para la recarga de acuíferos.

Aplicaciones industriales.

Industria alimentaria, farmacéutica y similares:

En las industrias alimentaria, farmacéutica, médica, cosmética, química, electrónica, biotecnológica, etc. se utiliza agua osmotizada puesto que en una gran variedad de procesos se precisa agua de gran calidad si no agua ultrapura.

El agua osmotizada es el punto de partida para la obtención de agua ultrapura.

Industria productora de agua para consumo humano:

En muchos lugares del planeta no existe suficiente agua dulce o con la calidad necesaria para poder abastecer a la población.

Tanto si el problema es de calidad (aguas salobres, aguas contaminadas con nitratos, metales, pesticidas, etc.) como de cantidad (se recurre a la desalinización de agua de mar) la opción más económica para la obtención de agua apta para el consumo humano es la ósmosis inversa.

Reutilización de aguas residuales.

Existen numerosos casos en los que los efluentes de los procesos de tratamiento de las aguas residuales deben ser tratados para mejorar su calidad hasta que puedan ser reutilizados.

Es el caso de aquellos procesos en los que se consume un gran caudal de agua, como en la industria textil, o cuando se vierte el efluente al medio natural para recargar un acuífero.

También es el caso de los procesos en los que se persigue no generar ningún vertido líquido (vertido cero) y la totalidad de los efluentes son tratados y recuperados para ser utilizados de nuevo.

2.3 PRINCIPIOS Y APLICACIÓN DE LA ÓSMOSIS INVERSA

La Osmosis Inversa consiste en separar un componente de otro en una solución, mediante las fuerzas ejercidas sobre una membrana semi-permeable. Su nombre proviene de "osmosis", el fenómeno natural por el cual se proveen de agua las células vegetales y animales para mantener la vida.

En el caso de la Osmosis, el solvente (no el soluto) pasa espontáneamente de una solución menos concentrada a otra más concentrada, a través de una membrana semi-permeable. Entre ambas soluciones existe una diferencia de energía, originada en la diferencia de concentraciones.

El solvente pasará en el sentido indicado hasta alcanzar el equilibrio. Si se agrega a la solución más concentrada, energía en forma de presión, el flujo de solvente se detendrá cuando la presión aplicada sea igual a la presión Osmótica Aparente entre las 2 soluciones.

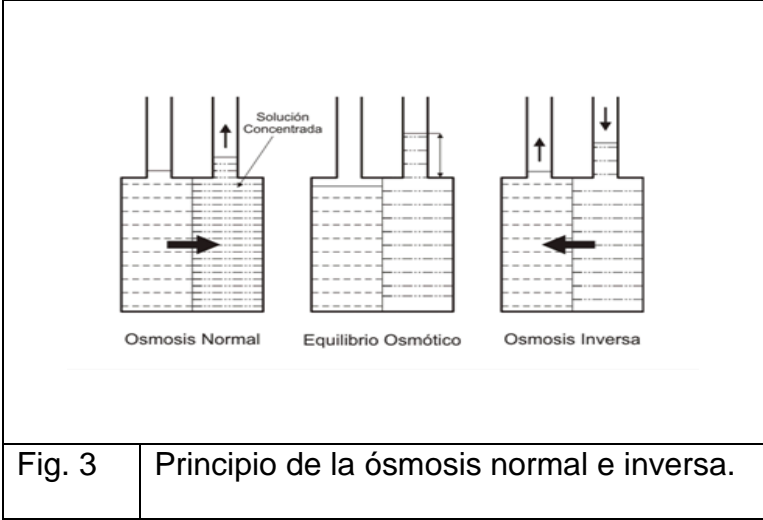
Esta presión Osmótica Aparente es una medida de la diferencia de energía potencial entre ambas soluciones. Si se aplica una presión mayor a la solución más concentrada, el solvente comenzará a fluir en el sentido inverso. Se trata de la Osmosis Inversa. El flujo de solvente es una función de la presión aplicada, de la presión osmótica aparente y del área de la membrana presurizada.

Los componentes básicos de una instalación típica de osmosis inversa consisten en un tubo de presión conteniendo la membrana, aunque normalmente se utilizan varios de estos tubos, ordenados en serie o paralelo. Una bomba suministra en forma continua el fluido a tratar a los tubos de presión, y, además, es la encargada en la práctica de suministrar la presión necesaria para producir el proceso. Una válvula reguladora en la corriente de concentrado, es la encargada de controlar la misma dentro de los elementos (se denominan así a las membranas convenientemente dispuestas).

Hoy en día, hay 3 configuraciones posibles de la membrana: el elemento tubular, el elemento espiral y el elemento de fibras huecas. Más del 60% de los sistemas instalados en el mundo trabajan con elementos en espiral debido a 2 ventajas apreciables:

- Buena relación área de membrana/volumen del elemento.
- Diseño que le permite ser usado sin dificultades de operación en la mayoría de las aplicaciones, ya que admite un fluido con una turbiedad más de 3 veces mayor que los elementos de fibra hueca.

Este elemento fue desarrollado a mediados de la década del 60, bajo contrato de la oficina de aguas salinas. En la actualidad estos elementos se fabrican con membranas de acetato de celulosa o poliamidas y con distintos grados de rechazo y producción. La figura 3 muestra en visualmente el principio de la ósmosis inversa.



Aplicaciones de la Osmosis Inversa:

Entre 1950 y 1970, se llevaron a cabo innumerables trabajos a fin de implementar el uso de la ósmosis inversa en la desalación de aguas salobres y agua de mar.

A partir de 1970, esta técnica comenzó a ser competitiva, y en muchos casos superior a algunos de los procesos y operaciones unitarios usados en concentración, separación y purificación de fluidos. Hay razones para justificar esta creciente supremacía, ya que la osmosis inversa reúne características de excepción, como:

- Permite remover la mayoría de los sólidos (inorgánicos u orgánicos) disueltos en el agua (hasta el 99%).
- Remueve los materiales suspendidos y microorganismos.
- Realiza el proceso de purificación en una sola etapa y en forma continua.
- Es una tecnología extremadamente simple, que no requiere de mucho mantenimiento y puede operarse con personal no especializado.
- El proceso se realiza sin cambio de fase, con el consiguiente ahorro de energía.
- Es modular y necesita poco espacio, lo que le confiere una versatilidad excepcional en cuanto al tamaño de las plantas: desde 1 m³/día, a 1.000.000 m³/día

La osmosis inversa puede aplicarse en un campo muy vasto y entre sus diversos usos podemos mencionar:

- Abastecimiento de aguas para usos industriales y consumo de poblaciones.
- Tratamiento de efluentes municipales e industriales para el control de la contaminación y/o recuperación de compuestos valiosos reutilizables.
- En la industria de la alimentación, para la concentración de alimentos (jugo de frutas, tomate, leche, etc.).
- En la industria farmacéutica, para la separación de proteínas, eliminación de virus, etc.

Se han efectuado numerosas experiencias para concentrar y purificar líquidos y gases. No obstante, las aplicaciones más difundidas son las que trataremos a continuación.

La ósmosis inversa en el ámbito industrial mejora la calidad del agua de aportación necesaria en los procesos de producción, eliminando gran parte de las impurezas presentes.

La ósmosis inversa consiste en presurizar una solución salina sobre una membrana semipermeable en una magnitud suficiente para provocar o facilitar el paso del agua pura a través de ella.

Los equipos permiten obtener agua destinada a usos industriales a partir de aguas de alto contenido salino entre 1,5 y 7,0 g/l.

Las ventajas del proceso de ósmosis inversa en la aplicación industrial son las siguientes principalmente:

- Las membranas de ósmosis inversa utilizada eliminan el 97-99% de las sales originales del agua a tratar.
- Presentan una relación muy favorable entre el consumo de energía eléctrica y el volumen de agua obtenida.
- El consumo de productos para el acondicionamiento del agua a tratar es mínimo.

El agua es un servicio vital para los procesos industriales, por ello en cualquier industria con necesidades de agua de calidad para sus procesos productivos, son aplicables. Como en la Industria farmacéutica, industria alimentaria, lacado y anodizado de aluminio, galvanotecnia.

2.4 NORMATIVIDAD

Norma Oficial Mexicana nom-127-ssa1-1994.

Según la norma mexicana de salud ambiental, el agua para uso y consumo humano, límites de calidad y tratamientos debe someterse el agua para su potabilización.

El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades gastrointestinales y para lo cual se requiere establecer límites permisibles en cuanto a sus características bacteriológicas, físicas, organolépticas, químicas y radiactivas.

Con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua en los sistemas, hasta la entrega al consumidor, se debe someter a tratamientos de potabilización.

Tratamientos para la Potabilización del Agua.

La potabilización del agua proveniente de una fuente en particular, debe fundamentarse en estudios de calidad y pruebas de tratamiento a nivel de laboratorio para asegurar su efectividad.

Se deben aplicar los procedimientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas del proceso de tratamiento, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua.

Lista de Límites Permisible de los Metales (Nom – 127 – ssa1 – 1994):

En la siguiente tabla 1 nos indica el contenido de químicos y los cuales deberá ajustarse a lo establecido.

Los límites se expresan en mg/l excepto cuando se indique otra unidad.

Característica	Limite Permisible mg/L
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cobre	2.00
Cromo	0.05
Fierro	0.30
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Plomo	0.025

Sodio	200.0
Zinc	5.00
Nitratos (como N)	10.0
Nitritos (N)	0.05
Níquel (Ni)	0.02
TABLA 1.	Lista de Límites Permisible de los Metales (Nom – 127 – ssa1 – 1994)

CAPÍTULO III
ESTADO DEL ARTE

3.1 UNIVERSIDAD DE TORONTO CANÁDA.

Es importante presentar a diversas universidades que han implementado diseño de ósmosis inversa, para identificar la importancia de realizar proyectos con el dicho proceso a través de membranas, por lo cual se mostraran primero las universidades extranjeras.

Se repite el proceso de osmosis inversa empleado por los peces, que invierte la tendencia usual de los líquidos que se filtran a través de membranas. El proceso gasta la mitad de la energía de los métodos tradicionales. El viejo sueño de la humanidad de producir abundantes cantidades de agua pura a partir del mar se está convirtiendo en una realidad económica.

En el Medio Oriente y Australia principalmente, se están construyendo importantes instalaciones de desalinización, basadas en un nuevo proceso costoso y eficaz de ósmosis inversa. Pero el procedimiento entraña la promesa realista de obtener, gracias a él, una provisión ilimitada de agua potable en un futuro próximo. En efecto las innovaciones tecnológicas previstas harán que sea económicamente accesible incluso para las comunidades más pobres.

Este resultado pudo lograrse gracias a un importante acuerdo de colaboración entre la Universidad de Toronto Canadá, y la Universidad del Rey Saud, en Riad` (Arabia Saudita). Se moviliza varios millones de dólares y exige una investigación conjunta, la capacitación de estudiantes árabes en Canadá y el envío de profesores canadienses a Arabia Saudita, para desarrollar la capacitación postuniversitaria y la investigación superior.

Significativo de la importancia que otorga Arabia Saudita a este acuerdo es el hecho de que el programa nacional de construcción de plantas de desalinización en todo el país avanza pese a la reciente baja del precio del petróleo

3.2 UNIVERSIDAD DE ANDES, BOGOTÁ COLOMBIA.

En esta universidad se desarrolló una bomba recíproca de doble efecto para la desalinización de agua por medio de ósmosis inversa. Ilustran el desarrollo de una pequeña planta para la desalinización de agua por ósmosis inversa, diseñada para

operar en la región del alta Guajira Colombiana, donde no existe conexión con las redes nacionales de acueducto y electricidad. La pequeña planta es energizada con el recurso eólico y fue desarrollada para el abastecimiento de pequeñas comunidades indígenas (rancherías).

Una planta desalinizadora la conforman, primordialmente, el equipo de bombeo y la membrana de Osmosis Inversa. El primero representa cerca del 40% del costo total de la planta, lo que hace más difícil su promoción como solución tecnológica. Una alternativa es el desarrollo de un sistema de bombeo tecnológicamente más simple y cuya manufactura sea viable por entidades capacitadas de la zona.

Sistemas con tales características son inexistentes en la industria colombiana y su único acceso es por importación directa. Las bombas usadas en plantas de ósmosis inversa son de desplazamiento positivo de alta velocidad, acción múltiple, efecto múltiple y recorridos cortos.

Estas condiciones de operación requieren diseños complejos y procesos de manufactura complicados. El manejo de altas cargas dinámicas a menores velocidades permite tamaños mayores y máquinas más simples, lo cual posibilita tanto un diseño más accesible como manejar alta eficiencia de manera global en el sistema.

3.3 UNIVERSIDAD DE PALMAS CANARIAS.

Se analizó el diseño de la optimización de una planta de ósmosis inversa utilizando energía renovable, con el objetivo de analizar la viabilidad del empleo de plantas de ósmosis alimentadas directamente por sistema de producción eléctrica renovables.

La planta de ósmosis inversa está diseñada, para satisfacer una serie de necesidades dentro del programa de investigación, por lo que sin dejar atrás la filosofía de una planta convencional de desalinización, incluye una serie de modificaciones importantes.

Se pretende averiguar el comportamiento de las membranas cuando se someten a régimen variable debido a las fluctuaciones de la energía de procedencia renovable (eólico y solar).

Con este sistema se comprueba el funcionamiento de la planta en régimen variable y con paradas y arranques sucesivos, dependiendo de la disponibilidad de potencia eléctrica en el sistema.

3.4 INVESTIGACIONES EN QUERÉTARO

Los investigadores han desarrollado un nuevo proceso de desalinización de agua marina que basado en el uso en las membranas cerámicas en osmosis inversa. Los investigadores han manifestado constantemente su preocupación por esa situación y sobre todo para proponer soluciones que ayuden a optimizar el abasto y manejo sustentable del vital líquido en diferentes regiones.

Las soluciones propuestas por diversas Universidades e Instituciones del país van desde un manejo responsable del recurso y la optimización de los esquemas tarifarios, el reciclaje del líquido, hasta la forma de aprovechar el agua salada, la cual representa el 97 por ciento del total del recurso existente en el planeta, conscientes de la importancia de aprovechar el agua salada.

3.5 UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO.

Desarrollan un nuevo proceso de desalinización de agua de mar que se basa en el uso de membranas cerámicas modificadas, utilizadas para eliminar el Sodio (Na), Potasio (K), Magnesio (Mg), Calcio (Ca) y cloruros que se encuentran presentes en el recurso proveniente de los océanos, y lo cual permitiría generar un líquido óptimo capaz de ser utilizado en el uso doméstico, riego agrícola y sobre todo, el consumo humano.

El trabajo que se desarrolla consiste en tres etapas principales, la primera realizar un muestreo y someter el recurso a un análisis físico- químico y microbiológico, con el objetivo de conocer las características particulares de la zona donde se tomaría el recurso para ser tratado con nuestro proceso de desalinización.

Posteriormente, se implementa un sistema de reactor a membrana, basado en materiales cerámicos modificados a fin de optimizar la remoción de las sales y minerales; en la última etapa se realiza un análisis comparativo entre la metodología tradicional y el proceso que se está desarrollando, además de elaborar un estudio de factibilidad económica". Víctor Pérez Moreno.

El experto de la Facultad de Química de la UAQ detalló que la primera etapa ha sido concluida y en ella se obtuvieron datos de la zona de muestreo. "Fuimos directamente a un punto en la playa y con un sistema GPS determinamos las coordenadas exactas del punto de muestreo, el cual se situó en Playa Blanca, Guerrero con una extensión de 80 kilómetros (desde Troncones hasta El Calvario).

Este proceso se realizó durante un año con intervalos de dos meses, a fin de determinar qué tanto cambian las características físicas, químicas y microbiológicas del agua durante la estacionalidad del año”, explicó.

De esta etapa, añadió, pudimos concluir que la calidad del agua en la zona muestreada cumple con los estándares de calidad para obtener agua potable, ya que no contienen coliformes totales.

De igual manera las características físico-químicas y microbiológicas del agua no cambian significativamente con la estacionalidad del año ni en los 80 kilómetros de extensión de la zona de muestra.

3.6 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO (UNAM).

En la Ciudad de México, para afrontar el problema de la escasez de agua en el país, especialistas de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) analizan cuatro diferentes tipos de plantas con el fin de desalar agua de mar y hacerla útil para el consumo humano.

La iniciativa forma parte del programa de Investigación Multidisciplinaria de Proyectos Universitarios de Liderazgo y Superación Académica (IMPULSA), que lanzó la Coordinación de Investigación Científica de la máxima casa de estudios del país a mediados de 2005.

Los prototipos analizados por los universitarios se conocen como de múltiple evaporación, de múltiple efecto, de compresión de vapor y de ósmosis inversa. En el caso de los dos primeros, el principio general para explicar su funcionamiento radica en calentar el agua salada para después bajarle la presión y obtener así vapor de agua.

La desaladora de compresión de vapor funciona a partir de un calentamiento inicial del agua de mar hasta obtener vapor, para después comprimirlo y reutilizarlo nuevamente en el calentamiento de agua salobre y así producir más vapor, el cual se condensa y se retira como agua. La desaladora de ósmosis inversa que funciona a partir de elevar la presión de agua de mar para después hacerla pasar por unos filtros, llamados membranas osmótica.

Es una membrana semipermeable que sólo deja pasar agua y no las moléculas de sal, entonces, a esto se le inyecta agua a una presión altísima más de mil

libras de modo que por esta membrana pasa el agua y adentro fluye la salmuera concentrada.

Las máquinas que pretenden construir estos investigadores universitarios podrían ser empleadas no sólo para desalar el agua del mar, sino también para limpiar los acuíferos de agua a los que se ha filtrado agua salada, situación común en lugares cercanos a la costa. Lo que ocurre en lugares como Guaymas, que está junto al mar, es que la población construye pozos para sacar agua de los acuíferos.

CAPÍTULO IV
METODOLOGÍA

4.1 ¿CÓMO OCURRE EL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA?

En el sistema de ósmosis inversa como se muestra en la figura 4 nos indica la manera de rehusar el agua en diferentes condiciones y en estos tiempos es muy escasa, es el momento de utilizar el proceso de ósmosis inversa consideremos que es la solución a este problema.

Es un sistema que nos permitirá la filtración, por medio de una membrana para reducir los contaminantes que puede ser encontrados los metales: cadmio, bario, cromo, plomo, mercurios, la siguiente figura muestra un sistema de ósmosis inversa.

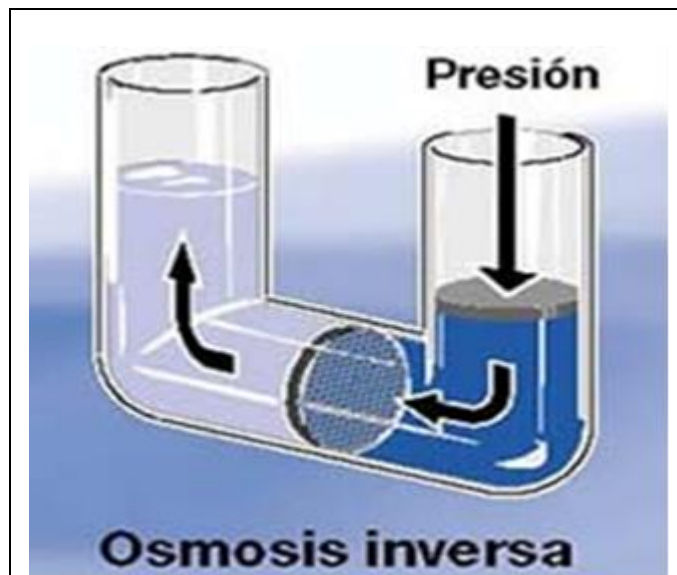


Fig. 4	Proceso de ósmosis inversa.
--------	-----------------------------

4.2 CONTROL DEL PROCESO DE ÓSMOSIS INVERSA

Los sistemas de ósmosis pueden ser instrumentados de manera manual o digital, de acuerdo al tipo de inversión y necesidad del proceso a cabo.

En general los sistemas de control dan la señal que precisan el monitoreo para el sistema por los siguientes parámetros como:

Llenado de tanques de entrada.

Nivel del estanque de agua osmosada.

Conductividad del agua osmosada.

pH del agua osmosada alcalinizada.

En cuanto al operador en general al proceso propuesto:

Se abrirá y cerrará manualmente todas las válvulas involucradas en la maniobra.

Preparará la solución a tratar.

Para el caso de lavar o intercambiar las membranas, se abrirá desde el sistema.

Dará señal de partida a la bomba habilitada cuando haya verificado el estado de volumen en el TK1 del sistema.

Para la parada de operación:

Fijar tiempo de acuerdo al volumen a tratar, mientras que al cabo de ese tiempo, estará la bomba en operación.

El sistema se detendrá automáticamente al detener la bomba de vacío.

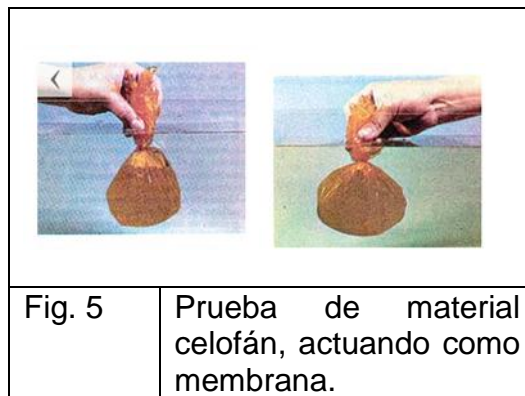
De manera manual puede actuar sus equipos a voluntad requerida de acuerdo al volumen a tratar.

4.3 METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA DEL PROCESO PILOTO DE ÓSMOSIS INVERSA.

Membrana Semipermeable (Celofán).

La ósmosis u osmosis es un fenómeno consistente en el paso del solvente de una disolución desde una zona de baja concentración de soluto a una de alta concentración, separadas por una membrana semipermeable.

Una membrana semipermeable contiene muchos poros, al igual que cualquier otra membrana.



La figura 5, muestra el material celofán presenta en su textura una porosidad, y el tamaño de los mismos es tan minúsculo que deja pasar las moléculas pequeñas, pero no las grandes. Por ejemplo, deja pasar las moléculas de agua que son pequeñas, pero no las de azúcar que son muy grandes.

En la naturaleza, en el organismo, así como en nuestra vida cotidiana este fenómeno ocurre no pocas veces y además es útil en la conservación de ciertos alimentos.

Si una membrana como la descrita separa dos líquidos; uno, agua pura y otro, agua con azúcar, sucederán las siguientes variantes:

1- Debido a la temperatura, las moléculas se mueven de un lado para otro. Las moléculas de agua pasan por los poros en ambas direcciones: de la zona de agua pura a la de agua con azúcar y viceversa.

2- Las moléculas de azúcar también se mueven, pero al no poder atravesar la membrana, rebotarán en ella, aunque algunas, momentáneamente obstruyan los poros. Un detalle importante: se obstruyen los poros del lado del azúcar (alta concentración), por lo que taponan el paso del agua.

3- En la zona de agua, baja concentración, todas las moléculas que llegan a los poros son de agua y la atraviesan.

En la zona de alta concentración llegan a los poros moléculas de agua y moléculas de azúcar; por tanto, habrá menos moléculas de agua capaces de atravesar la membrana hacia la zona del agua pura.

El resultado final es que, aunque el agua pasa de la zona de baja concentración a la de alta concentración y viceversa, hay más moléculas de agua que pasan desde la zona de baja concentración a la de alta. Dicho de otro modo, dando el suficiente tiempo, parte del agua de la zona sin azúcar habrá pasado a la de agua con azúcar. El agua pasa de la zona de baja concentración a la de alta concentración.

Lo explicado para agua y azúcar puede aplicarse a cualesquiera tipos de moléculas con tamaños diferentes.

Lo descrito hasta ahora es lo que ocurre en situaciones normales, en las que los dos lados de la membrana están a la misma presión; si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración. Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso se llama ósmosis inversa. Debe tenerse en cuenta que la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable solo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.

Si la alta concentración es de sal, por ejemplo agua marina, al aplicar presión, el agua del mar pasa al otro lado de la membrana. Sólo el agua, no la sal. Es decir, el agua se ha hecho potable. La ósmosis inversa es, por ello, una de las formas de potabilizar el agua.

Mediante este procedimiento es posible obtener agua potable partiendo de una fuente de agua salobre (menos de 15.000 microsiemens/cm de conductividad eléctrica) o de agua de mar, que en condiciones normales puede tener entre 20.000 y 55.000 microsiemens/cm de conductividad.

La medida de la conductividad del agua da una indicación de la cantidad de sales disueltas que contiene, dado que el agua pura no es conductora de la electricidad. Otro ejemplo: Se tiene agua con contaminante "X" cuyas moléculas tienen un tamaño de "Y" micras, siendo "Y" mayor que el tamaño de la molécula de agua. Si se busca una membrana semipermeable que deje pasar moléculas de tamaño de

las del agua pero no de “Y”, al aplicar presión (ósmosis inversa) se obtendrá agua sin contaminante.

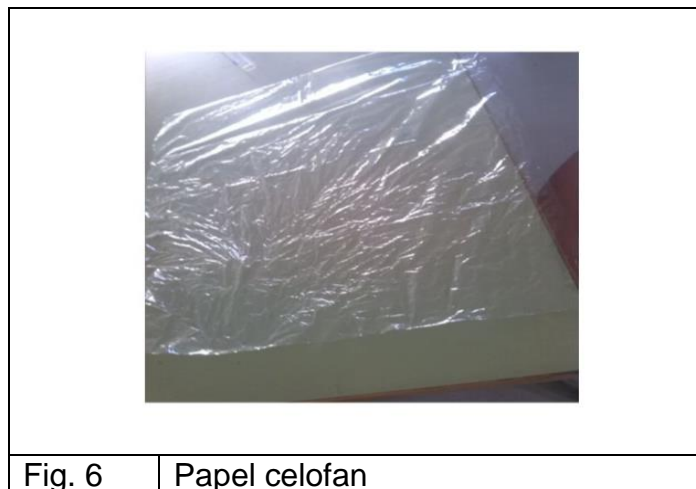
Los experimentos en cuanto al celofán actuando como membrana, pueden realizarse con los siguientes puntos; a) consiste en llenar una bolsa de celofán, con una solución de agua y azúcar común; b) la boca de la bolsa debe quedar herméticamente cerrada, c) en estas condiciones, se sumerge en un recipiente que contenga agua.

El celofán cumple el papel de una membrana y la característica que presenta es la de no permitir el paso de las moléculas de azúcar en la solución, lo cual significa que es impermeable al azúcar.

Por el contrario, deja pasar con facilidad las moléculas de agua, o sea, es permeable a ella.

Las membranas que presentan este comportamiento reciben el nombre de semipermeables.

El celofán es un polímero natural derivado de la celulosa como muestra en la figura 6 y tiene el aspecto de una película fina, transparente flexible y resistente a esfuerzos de tracción, pero muy fácil de cortar.



El proceso de fabricación consiste en disolver fibras de madera, algodón o cáñamo en un álcali para hacer una solución llamada viscosa, la cual luego es extraída a través de una ranura y se sumerge en un baño ácido que la vuelve a convertir en celulosa.

El celofán fue inventado por el ingeniero textil suizo Jacques E. Brandenberger en 1908, tuvo la idea de producir un recubrimiento transparente para la tela que la hiciera impermeable.

La película de celulosa se ha fabricado desde 1930 hasta la fecha y además de su uso como envoltura de alimentos, también tiene usos industriales, tales como cintas adhesivas y membranas semipermeables utilizadas por cierto tipo de baterías, con el tiempo, el término "celofán" se ha generalizado, y se usa comúnmente para referirse a diversas películas plásticas, aún aquellas que no están hechas con celulosa.

En algunas aplicaciones se le aplican recubrimientos para complementar o modificar sus propiedades. Actualmente el celofán ha sido sustituido por el polipropileno que es un derivado del petróleo, todo lo que conocemos como celofán en realidad es polipropileno pero popularmente es conocido como celofán.

Membrana Semipermeable (Intertop)

El intertop es una membrana sintética flexible de poliéster como se muestra en la figura 7 es un material resistente que soporta la presión de la filtración para realizar áreas de refuerzo en los puntos críticos de las superficies y como refuerzo integral en los sistemas de impermeabilización en frío.

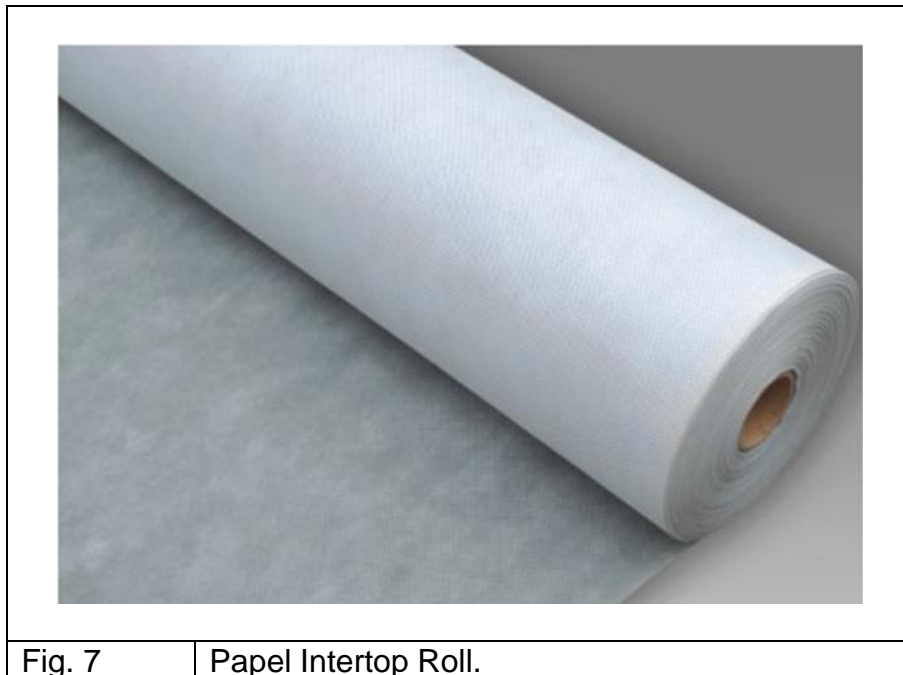


Fig. 7 | Papel Intertop Roll.

Empaques de Neopreno.

Los empaques de Neopreno industriales como se muestra en la figura 8 tienen la función de poder sellar cualquier fuga de la parte donde se coloca la membrana.



Bomba de Vacío.

La bomba de vacío de $\frac{1}{4}$ cfm (pie cúbico por minuto), como se muestra en la figura 9 que aplicara una presión de (.06684 atm) y así tener la purificación de agua al 100 % pura con la ayuda de la membrana de celofán que ayudara a soportar la presión al momento de la filtración.



Fig.9 Bomba de Vacío.

Acrílico:

Para los recipientes se propone utilizar acrílico, el acrílico es el polímero de metil metacrilato (PMMA). Es un Termoplástico rígido excepcionalmente transparente.

En su estado natural es incoloro pero se puede pigmentar para obtener una infinidad de colores. También se puede dejar sin pigmento para producir una lámina completamente transparente. Se produce material en un rango de parámetros de transmisión y difusión de luz, óptimo para diferentes usos.

Es inerte a muchas sustancias corrosivas. Su resistencia a la intemperie hace que sea el material idóneo para una variedad de aplicaciones al aire libre.

El PMMA normalmente se produce con un agente absorbedor de luz ultravioleta para proteger tanto la pigmentación del propio PMMA como objetos que pudieran recibir luz a través de él.

Aplicaciones del acrílico:

Rótulos y anuncios: Paneles luminosos, letras tridimensionales, señalizadores, etc.

Publicidad en puntos de venta: Expositores, degustadores, paneles informativos, cajas de luz, etc.

Diseño interior: Accesorios para tiendas, muebles especiales, pantallas de proyección, acristalamiento, etc.

Accesorios arquitectónicos: mobiliario urbano, accesorios de seguridad, paneles acústicos, tragaluces, etc.

Sanitarios: Tinas de baño, platos de regadera, etc.

Transporte: Deflectores, viseras antideslumbrantes / de protección contra el sol, placas vehiculares, portillas y ventanas para barcos, etc.

Medicina: Cunas, incubadoras, etc.

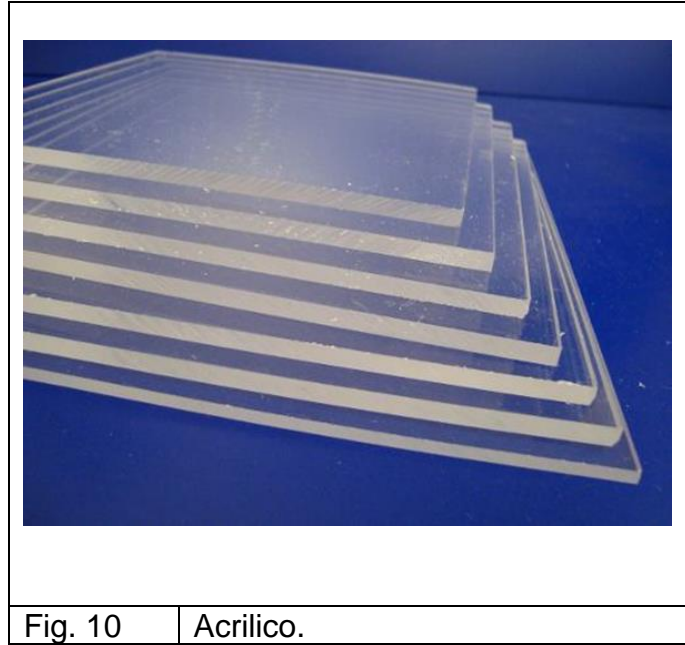
Industria: Protectores de seguridad para maquinaria, cuadrantes, piezas de alta precisión, etc.

Densidad y Resistencia al Impacto del acrílico:

La densidad del PMMA es del orden de 1190 kgs/m³, es decir 1.19 gms/cm³. Esto es algo menos de la mitad de la densidad del vidrio, la cual cae dentro del rango de 2400 o 2800 kg/m³.

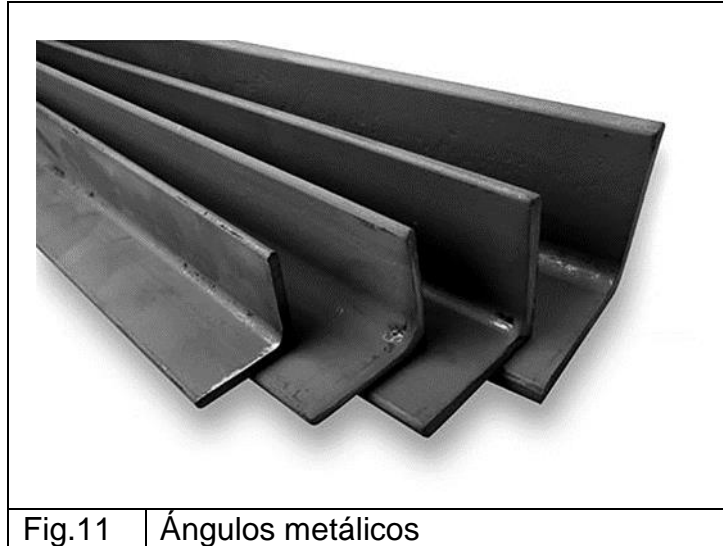
La resistencia al impacto del acrílico estándar es del orden de 15 veces mayor que la del vidrio no templado.

El acrílico es más blando que el vidrio. Sin embargo, se le puede aplicar, en el proceso de manufactura, una capa resistente a la abrasión. Raspones superficiales que llegue a sufrir el material son eliminados por medio de pulido.



Soporte:

En las bases para soporte del sistema, se plantean ángulos metálicos, para sentar los tanques, ya que el diseño de ángulo da mayor seguridad al colocar los tanques que contendrán las soluciones para el proceso.



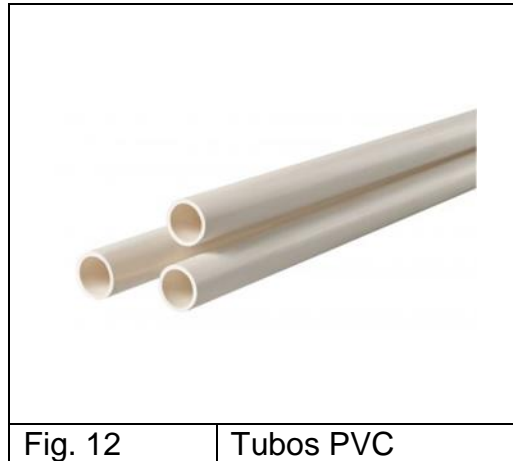
Tubos de PVC:

El tubo de PVC, son las siglas de “Polyvinyl chloride” en español significa “policloruro de vinilo”, el cual es un plástico que surge a partir del cloruro de vinilo. El PVC también es conocido como vinil, es utilizado en las instalaciones, debido principalmente a la variedad de accesorios del sistema (codos, manguitos de empalme, casquillos reductores, injertos, conexiones para desagües a bajante general, etc.) con los que cuenta, como también su bajo peso y su rápida y fácil colocación.

Las instalaciones con tubo de PVC permiten un flujo fácil de los desechos y prácticamente eliminan las obstrucciones, debido a la superficie lisa interior de los tubos y conexiones.

El tubo de PVC generalmente de color gris o blanco, se provee en diámetros de 32, 40 o 50 mm., con elementos de conexión y acople acordes a cada uno de estos diámetros.

Además de poseer corte libre de corrosión, baja conductividad termal, en 1/2" hasta 600 psi a 23°C.



Válvula esfera de paso roscable PVC:

Válvula de esfera para controlar el paso de agua de una forma cómoda con la máxima fiabilidad.

Estas válvulas toman tal nombre por su función abertura/cierre lograda a través de una bola para el control de flujo que se localiza en la parte central del cuerpo de la válvula.

Un orificio que atraviesa el centro de la bola (válvula de paso) conecta los extremos de entrada y salida de la válvula permitiendo la transferencia del fluido. La bola gira 90° en un eje perpendicular a la corriente del fluido con el fin de bloquear el flujo en la posición de cierre. La bola se mantiene en su lugar entre dos asientos de válvula, los cuales sirven como un sello de “hermeticidad total”, a la vez que proveen lubricación durante la operación de la válvula.

Se emplean aros tóricos de elastómero en el vástago y porta sello para prevenir fugas de fluidos. La caída de presión es prácticamente eliminada en la posición de abertura máxima, puesto que el orificio de la válvula tiene la misma dimensión que la tubería en el sistema de cédula 80. La válvula de bola estilo “T” es una configuración especial incorporando una Té en un extremo de la válvula.

Este diseño mantiene la válvula en proximidad cercana a la línea principal de fluido para minimizar la acumulación de fluido potencial donde sea requerido por alguna aplicación específica.



Fig.13 | Válvula de paso PVC

Sello de juntas:

En general, los productos para pegar tubos de PVC actúan específicamente para ese material, y no se pueden usar con otros tipos de plástico.

Este sistema de tubería del tipo PVC se utilizará para reforzar el paso de agua del proceso, si se unirá tuberías de agua, lo que se quiere sellar las juntas para asegurar que no existan pérdidas.

Hay dos tipos de adhesivo para PVC, si la tubería va a llevar agua caliente, el pegamento es algo distinto y suele ser amarillo, en este caso; la tubería tendrá agua fría o templada y el pegamento será transparente.

Las tuberías que transportan agua son más precisas, y se recomendarán con medidas estándar, pensadas para que encajen perfectamente; si se añade pegamento para PVC se conseguirá un sellado 100% efectivo.

Por otro lado, al estar con agua, hay que tener en cuenta que el producto tenga lo necesario para resistir y no ablandar con la humedad.

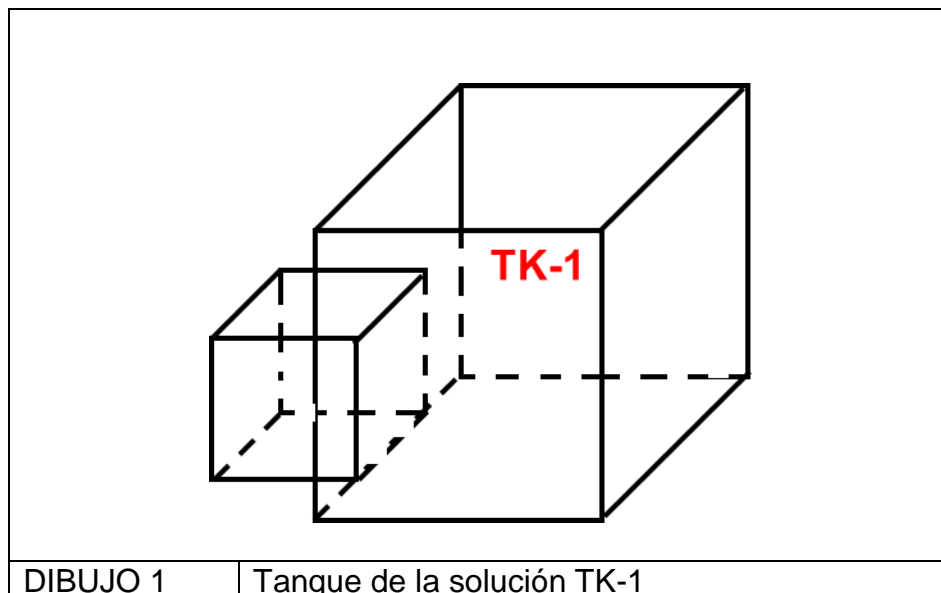
Descripción del proceso:

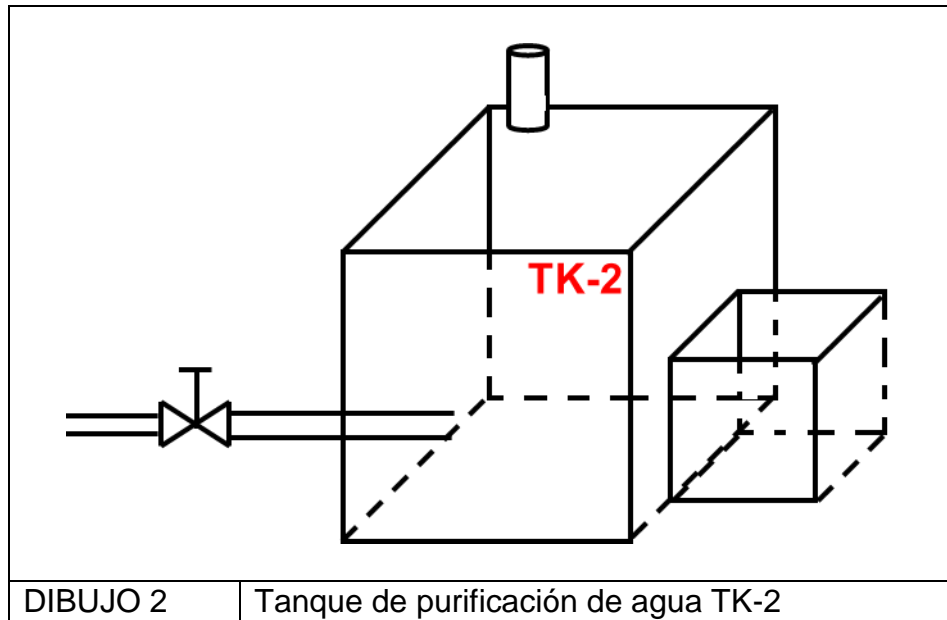
Con base a los materiales investigados, se propone un prototipo de metodología de construcción de diseño: que y se determinan las fases para metodología de construcción.

1. El prototipo debe llevar dos recipientes, por lo cual se diseñarán dos tanques.
2. El diseño de los dos recipientes será construido con acrílico que es material de alta resistencia a la temperatura y presión.
3. Las dimensiones a utilizar para la futura construcción de los tanques, deberán ser de 0.5 mm de espesor, 18 cm de ancho, 18 cm de alto y de fondo 18 cm, y la salida del lado hacia la membrana es de 8 cm de altura, 7.5 cm de ancho con una salida (largo de fondo) de 15 cm donde estará la membrana.
4. Las medidas de los tanques y/o recipientes están supuestas para una capacidad neto de 5.8 lt. por cada tanque.
5. El primer tanque que se denominará tanque de la solución (TK-1) donde se colocará la muestra a filtrarse y el segundo tanque de purificación de agua (TK-2), donde llegará la filtración una vez procesada.
6. Deberá utilizar un sellador propuesto de acuerdo a la investigación, para evitar pérdidas de solución en cualquier tanque.
7. El TK-2 deberá estar provisto por una salida vertical con tubería ½" PVC; en donde la bomba de vacío succionará para lograr la purificación.
8. Así también se debe proveer la válvula de salida en el TK-2, para realizar la toma de muestra.
9. Debido a que el diseño esta propuesto para el laboratorio de US, para pruebas piloto, y de acuerdo a la mínima capacidad de los tanques, no se requiere bomba de alimentación al TK-1, de tal manera que la alimentación será de manera manual.
10. Los empaques de neopreno industriales, tendrán la función de poder sellar cualquier fuga en la parte donde se colocará la membrana, tratando de concordar en lo más exacto las juntas a sellar.

11. La membrana de celofán con intertop, se colocará en medio de los empaques de neopreno.
12. Para ayudar a soportar el peso del sistema se debe considerar una estructura de carga, con material de ángulos metálicos de $\frac{3}{4}$ ", para montar la base del equipo con la medida de 45 cm de ancho y 68 de largo, y una altura de 30 cm.
13. Para la función del proceso se debe proceder a llenar el TK-1 con la solución de mayor concentración (muestra 1), a tratar en el proceso de ósmosis considerando el volumen de 5 lt. para no tener rebose en los tanques.
14. Llenado el tanque se suministrará presión, mediante una bomba de vacío de $\frac{1}{4}$ cfm en el TK-2, que realizará el esfuerzo para hacer pasar el agua a través de la membrana de celofán.
15. Con ayuda de la bomba de vacío el agua será succionada hacia el TK-2, pasando por la membrana de celofán, y debe esperarse una menor concentración (muestra 2).

Los siguientes dibujos se mostrarán como apoyo para la construcción del proceso. El dibujo 1 muestra la modelación de los tanques TK-1 y TK-2

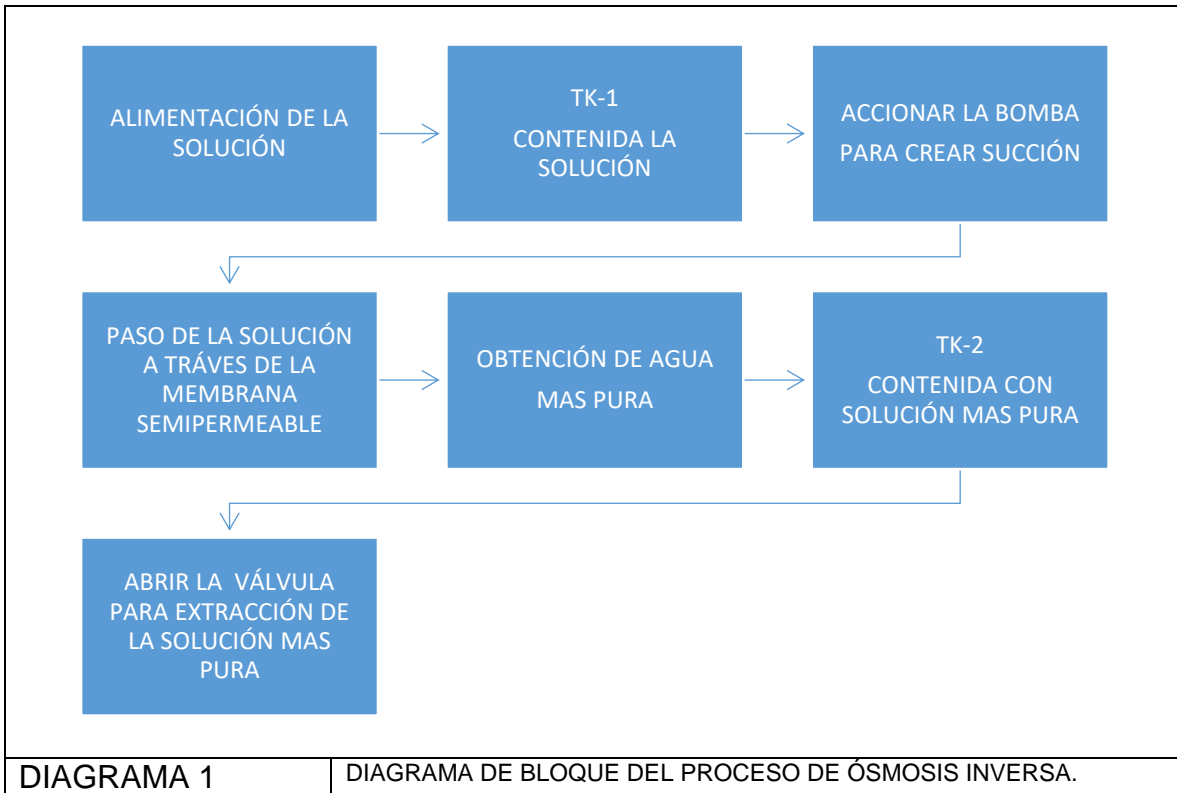




Se muestra en los anteriores dibujos (1 y 2), los diseños de los tanques TK-1 y TK-2 del proceso para apoyar la futura construcción o armado del sistema propuesto.

4.4 DIAGRAMA DE DISEÑO FINAL

Para comprender el proceso, se representará de manera gráfica, buscando visualmente el análisis de los componentes para mostrarse en conjunto la descripción de las fases.



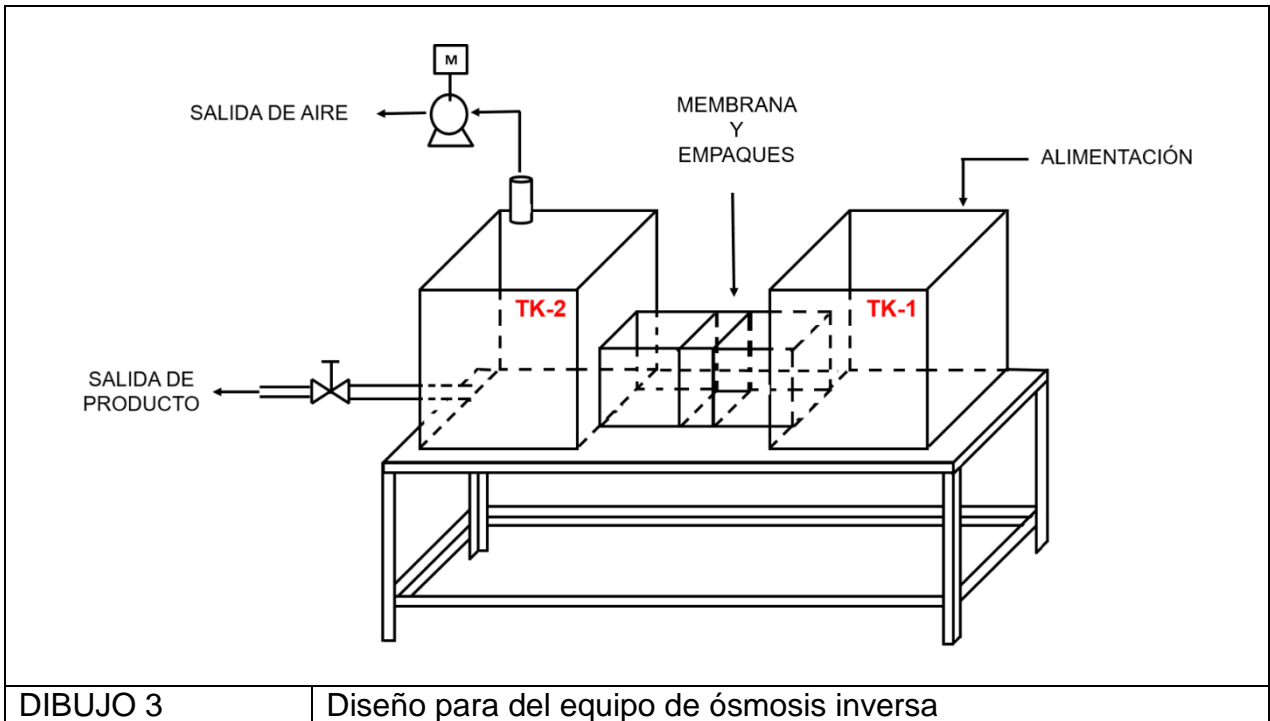
Es importante también la descripción del proceso con la simbología con los equipos, simulando las fases, para describir,

Se muestra el dibujo 3, donde se observa la construcción propuesta, que se propone para el diseño final del equipo de ósmosis inversa, con los implementos de la base y posiciones del tubo PVC auxiliar para la succión de la solución del TK-1 al TK-2

El dibujo muestra de manera tridimensional, la forma de los tanques y el ensamble de las piezas, figurando la terminación del armado del sistema de ósmosis.

Muestra las partes del sistema:

- Alimentación.
- Membrana y empaques.
- Posición de la bomba.
- Salida de aire.
- Salida del producto.
- Posición de las válvulas.



DIBUJO 3

Diseño para del equipo de ósmosis inversa

4.5 CÁLCULO DE PRESIÓN OSMÓTICA PARA EL PROTOTIPO

Presión Osmótica:

La presión osmótica es una propiedad coligativa, se llaman propiedades coligativas a aquellas propiedades de una disolución que dependen únicamente de la concentración.

Cuando una solución se pone en contacto con el solvente a través de una membrana semipermeable que deja pasar a las moléculas de solvente pero no las de soluto, las moléculas de solvente, que están en mayor concentración en el disolvente puro, se difunden hacia la solución, donde su concentración es más pequeña.

Se puede llegar a una situación de equilibrio contrarrestando esa tendencia mediante la aplicación de una cierta fuerza sobre la disolución, aumentando la presión; aplicando fuerza en una determinada área, lo que se conoce como presión osmótica de la solución. Al aumentar la presión osmótica, es posible detener el flujo de solvente (en general agua) a través de la membrana semipermeable e incluso revertirlo hacer pasar solvente desde la solución al solvente puro.

La concentración osmótica, normalmente conocida como osmolaridad, es la medición de la concentración de solutos, definida como el número de osmoles (Osm) de un soluto por litro (L) de solución (osmol/ L or Osm/L).

Para calcular la osmolaridad de una solución se debe multiplicar el peso molecular de ésta por la cantidad de elementos en los que la misma se disocia. La Presión que se desarrolla en una solución salina, dependiente de la diferencia de concentración de iones presentes a ambos lados de la membrana. Es un fenómeno resultante de la diferencia de concentración de sales a través de una membrana semipermeable.

Expresión matemática de la aplicación de la Presión Osmótica:

$$\pi = MRT$$

Donde

π = Presión osmótica

M = Molaridad

R = Constante universal de los gases

T = Temperatura absoluta

También se puede ocupar la siguiente fórmula:

$$\pi = R * T * C$$

Dónde.

π = Presión Osmótica (Atmosfera).

R= Constante Universal (0.0821 L atm/ mol-°K) T= Temperatura (°K)

C= Concentración (mg/l).

Cálculo de la Presión Osmótica en el Prototipo.

En los siguientes cálculos se presenta el procedimiento de la purificación de agua por la membrana de celofán, por medio de osmosis inversa.

Datos:

π = Presión Osmótica (atm).

R = Constante universal (0.0821 L atm /mol-°K). T = Temperatura (30 °C + T= 273 °K = 303°K).

C = Concentración (1097 mg/l). Datos de antecedentes de los límites permisibles según la Nom-127-SSA1-1994. (0.00025 mg/L).

Conversión de mg/L - mol/L.

La siguiente conversión de la concentración según la norma Nom-127-SSA1-1994, como antecedentes de los límites permisibles, para aplicar la fórmula correspondiente de la presión osmótica.

$$0.00025 \frac{\text{mg}}{\text{L}} \times \frac{0.001 \text{mol}}{1 \text{mg}} \times \frac{1 \text{mol}}{18 \text{gr}} = 1.38 \times 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{L}}$$

Aplicación de la fórmula de ósmosis Inversa.

Se realizó el siguiente cálculo correspondiente al proceso de ósmosis inversa para base de prueba piloto en el laboratorio de US.

$$\pi = \left(0.0821 \frac{\text{L atm}}{\text{mol} \cdot \text{°K}} \right) * (303 \text{ °K}) * \left(1.38 \times 10^{-8} \frac{\text{mol}}{\text{L}} \right) = 3.432 \times 10^{-8} \text{ atm}$$

CAPÍTULO V.
COSTO Y BENEFICIO

5.1 Análisis Económico de la propuesta

El análisis económico tiene como objetivo, no solo determinar los costos sino también los beneficios que otorga la propuesta.

En cuanto a los costos, el punto de vista de la institución es vital, se buscó por medio de la investigación metodológica, fusionar un proceso viable y al alcance económico, para demostrar que se puede hacer las analogías de grandes sistemas, con los mismos principios, y presentar las oportunidades de enlazar el desarrollo de procesos químicos en el laboratorio de Ingeniería Industrial de US.

La evaluación económica, se encamina en determinar el precio viable de los factores de producción, a continuación se presenta una tabla de material y equipo para tener una apreciación del costo de la construcción, que no incluye la mano de obra, ya que puede ser construida por estudiantes de ingeniería industrial a partir de quinto semestre, los cuales ya tienen desarrollada mayor destreza y avances de conocimientos de aplicación, además que como estrategia de aprendizaje, puede ser ligada a materias para desarrollar su aplicación de conocimiento.

Tabla 2 Precios de material y equipo		
Cantidad	Descripción	Precios(\$)
1	Membrana Semipermeable (Celofán) 15 x15 cm.	10.00
1	Membrana Semipermeable (Intertop) 15 x 15 cm.	10.00
2	Acrílico transparente 6 x 120 cm	1000.00
1	Acrílico transparente 60 X 60 cm	260.00
2	Tubería de PVC HIDRÁULICO ½"	30.50
1	Válvula de paso PVC ½"	21.00
2	Adhesivo para PVC	70.00
2	Empaques de neopreno ubicada en la porta membrana.	100.00
1	Bomba de vacío 3 cfm 1/4 hp	2321.00
1	Ángulos metálicos ¾" 6 m.	576.00
1	Pegamento para acrílico con aplicador	350.00
	TOTAL	4,748.00

Se requieren para el proyecto de construcción \$ 4,748.00, tomando en cuenta que solo es costo de los equipos y materiales, ya que el proceso de construcción quedaría a cargo de docente y estudiantes.

Empresas como EDIBON que son especialistas en equipos didácticos y técnicos en ingeniería, por mencionar alguna; ofrecen en su catálogo de ingeniería industrial, equipos de ósmosis inversa, compartiendo que éste proceso son de los que más han evolucionado en las últimas décadas, con filtración de membrana, con un costo arriba de 50,000.00, de su paquetería de procesos más avanzado.

Por lo cual hace referencia que aunque el prototipo propuesto de ósmosis para construcción en este propuesta, sea básico en su primer etapa, con una cantidad de mínimo monto, también sugiere un gran potencial como recurso didáctico de ingeniería para materias de química, termodinámica y termofluido, para cálculos básicos, pero que puede ir incrementando su modelo de generación, de acuerdo a diversas implementaciones en el proceso.

5.2 BENEFICIOS.

El proceso de desarrollo de la ciencia, requiere metodologías de cómo realizar la ciencia, esta propuesta metodológica es una aplicación para la elaboración de un proceso básico pero importante tanto tecnológicamente como pedagógicamente, ya que genera la destreza del armado de un proceso químico, que aunque básico, demanda destreza y seguridad en su elaboración, un prototipo sirve para simular el resultado de un producto, y realizar la construcción propuesta traerá beneficios en varios rubros como:

Educación.

Integración.

Destreza.

Aplicación del conocimiento.

Resolución de problemas.

Toma de decisiones.

Interacción de equipo.

Sinergia estudiante – docente.

Refuerzo de diversas disciplinas del conocimiento.

Habilidad.

Interactividad

Disciplina

Organización

Las mencionadas anteriormente, solo son algunos de los resultados positivos ya que resultará una buena experiencia de docente-estudiante planeada y no por casualidad.

El resultado de incontables horas de esfuerzo invertidas en desarrollar un producto, desde su conceptualización hasta la entrega final, incluyen el diseño y rediseño del producto basándose en una serie de sesiones de pruebas con los estudiantes.

La construcción de prototipos fomenta el ser interactivo, ya que de esta manera los estudiantes pueden hacerse una idea de cómo funcionará realmente el sistema, integrando la comunicación y la acción sobre el equipo.

Y aquí es donde entran en juego los prototipos. Un prototipo no es el producto final, ni hay que esperar que sea perfecto ni que tenga una alta fidelidad, pero sí un alto grado de interactividad e integración de la ciencia, no se espera que sea perfecto, sino que se realice la capacidad de diversas soluciones a una problemática.

El uso de proyectos reales permite que los estudiantes investiguen en directo, y trabajen en equipo colaborativo y heterogéneo, involucra a sus compañeros, docentes, personal de apoyo a la educación, y a la sociedad en donde se desenvuelven. De este modo genera habilidades metacognitivas, significado y relevancia en los estudiantes involucrados. Lo anterior nos motiva a plantearnos el siguiente cuestionamiento:

El diseño metodológico, como lo menciona Álvarez (2006), es la relación clara, concisa y coherente de técnicas y procedimientos coordinados de manera lógica, para dirigir el aprendizaje hacia determinados objetivos. Esto se lleva a cabo sabiendo cómo aprenden los alumnos, enseñándoles a pensar, a promover la autonomía y el trabajo colaborativo.

CONCLUSIÓN

En el presente estudio se promueve la elaboración del prototipo de ósmosis inversa, con la finalidad de proponerla como parte del aprendizaje significativo de la formación integral de estudiantes de Ingeniería Industrial.

Describe el paradigma de la educación tradicional dé un vuelco significativo en cuanto al aprendizaje. Es decir, que ya no sea conductista sino constructivista, de modo que los estudiantes en su formación puedan desarrollar un pensamiento crítico y creativo.

El resultado de costos que resulta: \$4748.50, son mínimos al comparativo de las cantidades de empresas que ofrecen estos tipos de prototipo, aunado a los diversos beneficios que surgen de la construcción de un sistema de proceso de ósmosis inversa para el laboratorio de Ingeniería Industrial.

Esta metodología no solo propone el proceso de construcción, sino que además está basada en el aprendizaje y su importancia de reforzar y construir conocimientos con el apoyo y guía del docente, tanto que ellos mismos propongan y definan sus propias trayectorias, así como su ritmo de trabajo, con miras a generar una formación integral y de alta calidad científica, tecnológica y humanística.

La propuesta sienta las bases para combinar, equilibradamente, el desarrollo de conocimientos, actitudes, habilidades y valores, que además de la generación de interacción, puede ser tomado para modelo de trabajo de tesis en el modelo de construcción o también como práctica profesional.

Cierto es que los estudiantes de ingeniería industrial han basado sus conocimientos en la construcción de equipos que ha fortalecido su desarrollo, si suman esfuerzos a este proyecto podrá ser fuente de prácticas de diversas materias de proceso industrial.

Tomar la debida importancia de escribir metodologías de procesos, es la primera parte para el diseño de prototipos de investigación, además que fomenta ideas para otros futuros prototipos.

Además que este proyecto que se sugiere es de vital importancia en la vida diaria para el ser humano, ya que trata de dar conocimientos a soluciones como problemáticas de la purificación del agua, como lo es la ósmosis inversa, utilizando las habilidades y conocimientos, además de otras características tanto de los estudiantes como docente, a un costo de material y equipo a bajo precio del mercado.

De tal manera que es viable no solo como inversión monetaria, sino también como la creación de colaboración institución- docente – estudiante, en marco humanístico y tecnológico, lo cual necesita la región, en una universidad de alto nivel, como la US. Campus Coatzacoalcos.

FUENTES BIBLIOGRÁFICAS:

1. Richard C. Vaughn.
Introducción a la ingeniería industrial.
Editorial Reverté, 1988.
2. Luz Stella Restrepo de Ocampo
El sentido de lo humano en la formación profesional en ingeniería industrial
caso de estudio programa de Ingeniería Industrial.
Universidad Tecnológica de Pereira. Facultad de Ciencias de la Educación.
3. Luis F. Rodríguez.
Un universo en expansión.
Editorial: S.L. Fondo de Cultura Económica de España, 2007.
4. Raymond Chang.
Química.
Editorial: MCGraw, 2013.
5. Keenan K Wood
Química General Universitaria,
Editorial: Cecsa, 1985.
6. Gregory R. Choppin - Lee R. Summerlin
Química
Editorial: Publicaciones Cultural, S.A. de C.V., 1997.
7. Rugarcia Torres,Armando.
La formación de ingenieros.
Editorial: Universidad Iberoamericana Golfo-Centro., Puebla, 2008.
8. López Rua, Ana Milena; Tamayo Alzate, Óscar Eugenio.
Las Prácticas de Laboratorio en la Enseñanza de las Ciencias Naturales.
Editorial: Revista Latinoamericana de Estudios Educativos (Colombia), vol.
8, núm. 1, enero-junio, 2012.

DIRECCIONES ELECTRÓNICAS:

Direcciones del capítulo I:

1. <http://oferta.unam.mx/carreras/58/ingeniera-industrial>
2. https://escolar1.unam.mx/planes/aragon/ing_industrial.pdf
3. <http://www.utel.edu.mx/blog/ingenieria-industrial-en-linea/2015/07/02/la-ingenieria-industrial-en-los-procesos-de-produccion/>
4. Lindo, C. (23 de marzo de 2016) - <https://prezi.com/xy8sty10uo6v/importancia-de-la-quimica-en-la-ingenieria-industrial/?webgl=0>

Direcciones electrónicas del capítulo II:

1. <http://teoriaderestricciones.info/2016/04/18/gestion-la-cadena-suministro-sin-limites/>
2. <http://anfei.org.mx/revista/index.php/revista/article/view/139/503>

Direcciones electrónicas del capítulo III:

1. <https://blog.condorchem.com/la-osmosis-inversa-y-sus-diferentes-aplicaciones/>
2. <https://www.textoscientificos.com/quimica/osmosis/inversa>
3. <http://www.intreosl.com/es/purificacion-aguas-industriales/osmosis-inversa-industrial>
4. <http://www.abc.com.py/articulos/la-osmosis-912443.html>

Direcciones electrónicas del capítulo IV:

1. https://www.google.com.mx/search?biw=1024&bih=494&tbm=isch&sa=1&ei=avqGW5KwJISRjwTjhorACQ&q=Empaques+de+Neopreno&oq=Empaques+de+Neopreno&gs_l=img.3..0l2j0i24k1l3.0.0.0.-2690086.1.1.0.0.0.338.338.31.1.0....0...1c.1j2.64.img..0.1.336....0.C4bgBDCRQRI#imgrc=l4GoVpgFTxtdyM
2. <https://www.0grados.com/la-bomba-vacio/>
3. <http://www.acrilico-y-policarbonato.com/acrilico.html>
4. <https://www.homedepot.com.mx/>
5. <https://www.poolaria.com/66-valvulas-de-pvc>
6. https://www.spearsmfg.com/spanish_v4_files/V-4SP-0315_0315-Complete.pdf
7. <https://www.pegamento.org/pvc/>

Direcciones electrónicas del capítulo V:

1. <http://www.edibon.com/es/equipment/computer-controlled-reverse-osmosis-ultrafiltration-unit>
2. <http://noticias.universia.es/consejos-profesionales/noticia/2015/09/29/1131645/prototipo-sirve.html>
3. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1665-26732012000300005