

# BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

Facultad de Ingeniería Química



## TESIS

Título de tesis:

**MANUAL DE OPERACIÓN DE LA PLANTA TRATADORA  
DE AGUA PURIFICADA Y DESIONIZADA APLICADO EN  
UNA INSTITUCIÓN DE EDUCACIÓN SUPERIOR.**

**Enero, 2024**

Tesis presentada para obtener el grado de:

**LICENCIATURA EN INGENIERÍA QUÍMICA**

Presenta:

**CÉSAR ALEJANDRO RUBIO REYES**

Directora de tesis:

**DRA. MARÍA DOLORES GUEVARA ESPINOZA**

Asesores de tesis:

**DRA. MARÍA DE LOS ÁNGELES VELASCO HERNÁNDEZ**

**DRA. MARÍA DE LOURDES SALDAÑA BLANCO**

## Dedicatoria

*A mi madre, Norma Reyes Trejo,  
a mi padre, Carmelo Rubio Alejo,  
y a mi hermano, Oscar Iván Rubio Reyes,  
por ser quienes me ayudaron en mi  
crecimiento académico y personal*

## Agradecimientos

A Dios y a Mí, por iluminar mi camino y ser la fuente de sabiduría y amor que me han sostenido en momentos de duda e incertidumbre. Por darme la fuerza necesaria, la inteligencia en la toma de mis decisiones y por orientarme hacia la búsqueda y mejora física, mental y espiritual. Por darme el privilegio de embarcarme en este viaje de autodescubrimiento y permitirme transmutar mis estados de conciencia para vivir cada etapa nueva en mi vida de manera única, donde los resultados se ven reflejados en amor, paciencia, humildad, orden, serenidad, mi perseverancia, caridad y sobre todo por la profunda conexión con mi ser interior.

*Me duele el pecho por nunca confesarte, por ser amargo, por no ser tan constante, por no decirte que te amo a cada instante. Hoy brindo por tenerte aquí, por verte sonreír por mí, por darme ganas de vivir y por todo lo que aprendí. Yo te digo todo, no me quiero arrepentir, que el día que te vayas, que tengas que partir, no sé qué va a ser de mí, dime qué será de mí; desde que hiciste mi corazón latir o desde que me empezaste a vestir. Quiero abrazarte y gritar amén que, por fin, al fin yo te encontré, yo te encontré, correr hasta que duelan los pies y decir: "No te vuelvo a perder, no otra vez". Gracias por tu esfuerzo y por tu amor, por no dudar en darnos lo mejor, por ser nuestro defensor y protegernos de todo el dolor. Me enseñaste a manejar, me llevaste a navegar, por no dejar de trabajar, carajo, me diste un hogar. Hoy brindo por tenerte aquí, por verte sonreír por mí, por darme ganas de vivir y por todo lo que aprendí. Quiero abrazarte y gritar amén que, por fin, al fin yo te encontré, yo te encontré, correr hasta que duelan los pies y decir: "No te vuelvo a perder, no otra vez". Porque el tatuaje en tu muñeca nos volverá a juntar cuando llegue a ese lugar tan hermoso, otro hogar. Estando aquí me siento diferente, privilegiado de tenerte frente a frente. Me siento libre y transparente, es puro amor y vida todo lo que mi alma siente. Y siendo honesto, yo nunca sentí nada hasta que por fin te conocí, es claro que yo no viví hasta que por fin nací, hasta que por fin nací. (Humbe, 2021)*

A mi madre Norma Reyes Trejo y mi padre Carmelo Rubio Alejo, por su sacrificio, esfuerzo y generosidad, donde, resultado de estos años llevará su legado y cada palabra escrita es un tributo a su dedicación y amor incondicional.

A mi hermano Oscar Iván Rubio Reyes, por su apoyo, compañía y tiempo, quien, a pesar de encontrarse a la distancia en repetidas ocasiones, siempre lo llevo conmigo. Que muchas de las decisiones tomadas le sirvan de guía y desearle que cada una de ellas le lleven a cientos de momentos invaluable y perdurables.

A mi mejor amiga Johana Lizeth Segura Romero, por su ayuda en las enésimas veces que se lo solicité, por su tiempo, su compañía, las risas, los aprendizajes, los consejos, los momentos de ocio. Donde la mayor satisfacción será el verle feliz cumplir sus sueños.

Quiero de igual manera mencionar a Liss Gamboa, pese a no tener contacto con ella me enseñó a ver la vida de una manera diferente, por su apoyo y confianza en cierta parte del trayecto universitario.

Por haber sido alentado, apoyado, inspirado y tolerado por todos ustedes y los no mencionados.

“Muchas veces menos, es más, y, aunque tengo tanto que decirles,  
solo les diré: Los quiero”

# Índice general

Introducción .....	7
<i>Resumen</i> .....	8
<i>Problemática</i> .....	9
<i>Alcances</i> .....	10
<i>Limitaciones</i> .....	11
<i>Planteamiento del problema</i> .....	11
<i>Justificación</i> .....	11
<i>Objetivo general</i> .....	12
<i>Objetivos específicos</i> .....	12
<i>Hipótesis</i> .....	12
Capítulo I Marco teórico .....	13
1.1 <i>Operaciones unitarias</i> .....	14
1.2 <i>Ingenieros químicos y las operaciones unitarias</i> .....	14
1.3 <i>El agua a nivel global</i> .....	14
1.3.1 <i>El agua en México</i> .....	15
1.4 <i>Aguas residuales</i> .....	15
1.5 <i>Tratamientos de aguas residuales</i> .....	15
1.6 <i>Ósmosis inversa</i> .....	17
1.7 <i>Zeolitas</i> .....	17
1.8 <i>Propiedades fisicoquímicas</i> .....	19
1.8.1 <i>Dureza</i> .....	19
1.8.2 <i>Sólidos disueltos totales (TDS)</i> .....	19
1.8.3 <i>Conductividad eléctrica</i> .....	19
1.8.4 <i>Concentración de cloro</i> .....	20
1.8.5 <i>pH</i> .....	20
1.9 <i>Tratamientos físicos</i> .....	20
1.10 <i>Tratamientos químicos</i> .....	21
1.11 <i>Tratamientos biológicos</i> .....	22
1.12 <i>Purificación del agua en una PTAP</i> .....	22
Capítulo II Operación de la planta y medición de parámetros .....	23
2.1 <i>Operación de la planta para la producción de agua purificada</i> .....	24
2.1.2 <i>Paro de agua purificada</i> .....	26
2.2 <i>Operación de la planta para la producción de agua desionizada</i> .....	26
2.2.2 <i>Paro de agua desionizada</i> .....	27

2.3	<i>Pruebas fisicoquímicas</i> .....	28
2.4	<i>Calibración del conductímetro</i> .....	29
2.5	<i>Dureza</i> .....	29
2.6	<i>Sólidos disueltos totales (TDS)</i> .....	30
2.7	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	30
2.8	<i>Cloro</i> .....	31
2.9	<i>pH</i> .....	32
4.6.2	Medición de pH con tiras reactivas .....	32
4.6.3	Medición de pH con Kit analizador de pH.....	32
Capítulo III Mantenimientos preventivos, correctivos y normatividad.....		34
3.1	<i>Tanques de almacenamiento</i> .....	35
3.1.2	Limpieza.....	35
3.2	<i>Válvulas, accesorios y conexiones</i> .....	36
3.2.2	Reemplazo.....	36
3.3	<i>Filtros pulidores</i> .....	37
3.3.2	Reemplazo.....	37
3.4	<i>Bombas hidroneumáticas</i> .....	38
3.4.2	Purgado.....	38
3.5	<i>Filtro de arena, carbón activado e intercambio iónico</i> .....	38
3.5.2	Retro lavado .....	38
3.6	<i>Normatividad</i> .....	39
3.6.2	<i>NRF-010-PEMEX-2001 “Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de instalaciones industriales en centros de trabajo de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios”</i> .....	39
	Resumen.....	39
	Objetivo.....	40
	Procedimiento .....	40
3.6.3	<i>NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad de agua”</i> .....	45
	Resumen.....	45
	Objetivo.....	45
	Procedimiento .....	45
Conclusión.....		52
Bibliografía .....		53
Anexos Lista de Figuras.....		55
	<i>Diagrama de tubería e instrumentación</i> .....	56
	<i>Válvulas, equipos y accesorios para purificación de agua</i> .....	57
	<i>Válvulas, equipos y accesorios para desionización de agua</i> .....	65

# Introducción

## Resumen

La planta tratadora de agua purificada/desionizada localizada dentro del laboratorio de operaciones unitarias (LOU) perteneciente a la Facultad de Ingeniería Química de la BUAP tiene como actividad principal la recepción de agua proveniente de la red pública para recibir el tratamiento de purificación o desionización. Esta obra representa un hito importante en nuestra búsqueda constante de excelencia en el suministro de recursos críticos para la investigación y el desarrollo académico.

En un mundo donde el acceso a agua de calidad es esencial para el progreso científico, tecnológico y académico, nuestra institución ha dado un paso adelante al invertir en esta planta de tratamiento de agua. Este manual tiene como objetivo proporcionar a todos los usuarios, operadores e interesados una guía completa sobre el funcionamiento, mantenimiento y gestión de esta planta.

En las siguientes páginas, encontrarán información sobre los procesos de purificación y desionización del agua, los equipos y componentes clave de la planta y de los procedimientos de mantenimiento preventivo y correctivo, además se propone analizar y recolectar la información técnica contenida en la norma “NOM-201-SSA1-2015”, esto con el fin de comparar o incluso constatar el cumplimiento normativo que se lleva a cabo dentro de la institución, los requisitos técnicos que se cumplen y en los que se tienen deficiencias, los procedimientos y registros requeridos como controles de calidad y de operación, la capacitación del personal para la operación y mantenimiento de la planta, detallando los protocolos a seguir, y los estándares con los límites permitidos para diferentes parámetros fisicoquímicos.

Nuestra institución está comprometida no solo con la educación de calidad, sino también con la preservación del medio ambiente y la responsabilidad social. Por lo tanto, el manual también aborda prácticas de conservación de recursos y sostenibilidad que deben observarse durante la operación diaria de la planta.

Esperamos que esta obra sea una guía valiosa para todos aquellos que trabajan con esta planta, y que contribuya al avance de la investigación y la educación en nuestra comunidad académica.

## Problemática

Puede decirse que, a partir de la década de los 60, términos tales como contaminación del aire y del agua, protección del medio ambiente, ecología..., pasaron a ser palabras de uso común. Antes de estas fechas estos términos o bien pasaron desapercibidos para el ciudadano medio, o a todo lo más eran base para ideas confusas. Desde entonces, el género humano ha sido bombardeado continuamente por los medios de comunicación (Periódicos, radios, TV) con la terrible idea de que la humanidad estaba trabajando efectivamente para su autodestrucción, a través de procesos sistemáticos de contaminación del medio ambiente, con el fin de conseguir un progreso material. En algunos casos la gente ha sido arrastrada hasta casi un estado de histeria de masas. Aunque la contaminación es un problema serio y es por supuesto deseable que el ciudadano sea consciente de ello, es dudoso que la histeria de masas en cualquier caso justificable. El instinto de conservación de las especies es una motivación básica para la humanidad, y el hombre está equipado para corregir el deterioro del medio ambiente antes de que sea demasiado tarde. De hecho, la corrección de la contaminación no es un problema técnico de gran dificultad comparado con otros, mucho más complejos, resueltos con éxito en esta década, tal como la exploración de la luna por el hombre. Esencialmente, el conocimiento técnico básico requerido para resolver el problema de la contaminación está ya a disposición del hombre y, en la medida en que quiera pagar un precio razonable por conseguirlo, la pesadilla de la destrucción a través de la contaminación nunca se hará realidad. (Ramalho, 1996, p. 1)

La disponibilidad de agua limpia y segura es esencial para la salud humana y para el desarrollo económico y social de las comunidades en todo el mundo. En la actualidad, muchas partes del mundo aún carecen de acceso a agua potable segura y suficiente, lo que representa un problema grave de salud pública y una barrera para el desarrollo sostenible. En este contexto, las plantas tratadoras de agua purificada y desionizada han surgido como una solución para garantizar la disponibilidad de agua limpia y segura para el consumo humano y otras aplicaciones industriales.

Las plantas tratadoras de agua se utilizan para purificar el agua cruda, la cual generalmente contiene impurezas, contaminantes y microorganismos que pueden ser perjudiciales para la salud humana, además del agua precedente de poblaciones o sectores industriales, la cual ha sido utilizada para saneamiento básico, riego, procesos de fabricación, refrigeración, etc. El tratamiento del agua implica una serie de procesos físicos, químicos y biológicos para eliminar las impurezas y asegurar que el agua sea segura para el consumo humano. Estos procesos pueden incluir la filtración, la sedimentación, la cloración, la desinfección con ozono, la ósmosis inversa, entre otros.

Para asegurar una buena calidad en los procesos de purificación de agua, es importante definir y medir diversos parámetros para evaluar la eficiencia y efectividad de los tratamientos. A continuación, se presentan algunos parámetros medibles clave:

- pH.

- Dureza.
- Conductividad.
- Sólidos disueltos totales (TDS).
- Cloro residual.

En los procesos de purificación y/o desionización del agua, la ósmosis inversa se ha empleado con éxito para retirar sales pesadas presentes en este medio, tales como magnesio, potasio, hierro, zinc, entre otras. Este método es fundamental para el proceso de purificación dentro de la planta, el cual consta de una membrana semipermeable que permite el paso de moléculas o iones a través de ella por principio de difusión. La velocidad de difusión dependerá de diversos factores, como: presión osmótica, concentración del sistema, temperatura, gradiente electroquímico, permeabilidad de la membrana, entre otros. En el siguiente diagrama podemos observar el proceso de ósmosis inversa. Cuando se le aplica un diferencial de presión a un sistema con solución concentrada, se fuerza el paso del fluido a través de la membrana, inhibiendo el paso de partículas y minerales que se encuentran en el agua (Cuevas, Alonso & Rubio, 2022).

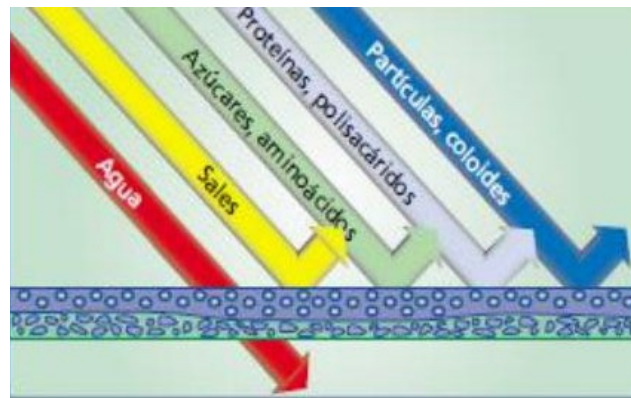


Figura 1. Adaptado de: “Ósmosis inversa” por Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de química. Procesos de alimentos. 2013.

## Alcances

Se dispone a presentar los resultados y orientar a todo el personal que requiera resolver alguna cuestión técnica para mantener ciertos estándares propuestos por los directivos y bajo régimen de normas oficiales mexicanas.

No se abordará a detalle las fuentes o cuestiones de financiamiento de la planta, será un estudio técnico.

Se abordarán tecnologías de tratamiento utilizadas dentro de la planta tratadora de agua, incluyendo tratamientos con zeolitas, además de evaluar ciertos parámetros fisicoquímicos específicos, dejando de lado otros contaminantes presentes en el agua los cuales no serán considerados para este estudio.

## Limitaciones

Ciertos tipos de factores externos no controlables pueden ser la variabilidad en la calidad de agua a la entrada de la planta, así como las restricciones tecnológicas, como la disponibilidad de equipos de monitoreo avanzado, la cual va muy relacionada con las limitaciones financieras, las cuáles presentan restricciones para la implementación de mejoras, reflejando resultados en el rendimiento de la planta.

## Planteamiento del problema

La falta de un manual de operación exhaustivo y fácil de seguir para una planta tratadora de agua purificada y desionizada puede dar lugar a una serie de desafíos y limitaciones en su operación eficiente. Algunos de los problemas identificados incluyen:

Desconocimiento de los procedimientos: donde los operadores pueden enfrentar dificultades para llevar a cabo las actividades necesarias para la entrega del producto terminado. Esto puede resultar en errores, tiempo de inactividad y retrasos en la producción.

Falta de uniformidad en las operaciones: donde la ausencia de estándares pueden dar lugar a variaciones en la forma en que diferentes operadores llevan a cabo los procesos. Esto puede afectar la consistencia y calidad del agua producida.

Problemas de mantenimiento: ya que, sin una guía adecuada, los operadores pueden tener dificultades para llevar a cabo el mantenimiento preventivo y correctivo necesario en la planta tratadora. Esto puede llevar a un deterioro en el rendimiento de los equipos, aumentar los costos de reparación y disminuir la vida útil de los componentes.

Riesgos para la salud y seguridad: la operación incorrecta de una planta tratadora de agua purificada desionizada puede plantear riesgos para la salud y seguridad de los operadores y el medio ambiente. La falta de conocimiento sobre los procedimientos y protocolos adecuados puede llevar a accidentes y exposición a sustancias químicas que afecten nuestra integridad.

## Justificación

El agua es uno de los recursos más importantes y valiosos en el mundo, y su tratamiento es esencial para garantizar su calidad y seguridad para el consumo humano y el medio ambiente. En este contexto, la elaboración de un manual de operación de una planta tratadora de agua se convierte en una herramienta fundamental para asegurar el correcto funcionamiento y mantenimiento de dicha planta.

Se presentará una revisión bibliográfica acerca de las características y especificaciones técnicas de la planta tratadora de agua, así como las normas y regulaciones que rigen su operación y mantenimiento.

## Objetivo general

- Presentar un manual de operación para la planta tratadora de agua purificada y desionizada presente dentro de las instalaciones de la facultad de ingeniería química de la BUAP, el cual servirá como guía para el personal encargado de su operación y mantenimiento.

## Objetivos específicos

- Describir los procesos involucrados en la eliminación de impurezas y la purificación del agua, así como las medidas de seguridad y prevención de riesgos para el personal de la planta y el medio ambiente.
- Otorgar un plan detallado de la planta tratadora dirigido al personal encargado de su operación y mantenimiento que funja como consulta para la evaluación de la efectividad en la mejora del desempeño de la planta y la calidad del agua tratada.
- Detallar los puntos que se cumplen y que no se cumplen dentro de la planta tratadora de agua con base en normas oficiales mexicanas (NOM-201-SSA1-2015 & NRF-010-PEMEX-2014)
- Establecer los procedimientos operativos estándar (SOP) para cada etapa del proceso de tratamiento de agua, considerando los alcances de las capacidades técnicas y operativas de la planta.
- Integrar protocolos de control de calidad, incluyendo métodos de muestreo, pruebas y análisis para garantizar la conformidad con los estándares de calidad del agua, considerando los alcances de los recursos y el equipo de laboratorio disponibles.
- Evaluar y documentar los alcances y limitantes del manual de operación, destacando claramente las áreas donde se requiere una mayor investigación o recursos adicionales para garantizar la eficacia y aplicabilidad del manual en la planta tratadora de agua purificada y desionizada.

## Hipótesis

La disponibilidad de un manual de operación comprensible, accesible y actualizado fomentará la estandarización de los procedimientos en la planta tratadora de agua, contribuirá a la transferencia de conocimientos y asegurará la continuidad operativa en caso de cambios de personal en la planta tratadora agua purificada y desionizada.

# Capítulo I

## Marco teórico

## 1.1 Operaciones unitarias

La palabra “Operación unitaria” es el resultado de una evolución conceptual de los procesos químicos que se han estudiado desde hace siglos, hasta que se necesitó una alternativa para poder clasificar los procesos y operaciones dentro de la industria.

Fue hasta que un profesor del Instituto Tecnológico de Massachusetts en Estados Unidos propuso el término de “Operación unitaria” con base en 2 principios: la identificación de la personalidad científica de la ingeniería química y la estructura de sus planes de estudio, así lo describe Pérez, L. (2007), en su libro “Curso breve de operaciones unitarias”

Las operaciones unitarias se refieren a los fenómenos que ocurren a una o más especies químicas en las que únicamente se verán presentes cambios físicos en ellas, como cambios de fase, color, diferencias de concentración empleados en membranas osmóticas o variaciones en sus tamaños de partículas, por mencionar algunas.

## 1.2 Ingenieros químicos y las operaciones unitarias

Aunque es difícil definir a qué se dedica exactamente un ingeniero químico, se menciona que: no existe una definición universal de lo que es la ingeniería química, aunque casi cualquier trabajo especializado que pueda imaginar es realizado en alguna parte por personas con una formación como ingenieros químicos. Esta definición se ha vuelto aún más difícil debido a que los departamentos de ingeniería química de las universidades han sido reestructurados como departamentos de ingeniería química e ingeniería biomolecular o de ingeniería química e ingeniería de materiales o de ingeniería química e ingeniería ambiental (Felder, 2018, p. 3).

Además, podemos dar un ligero acercamiento a lo que se trabaja o las actividades que se realizan dentro del laboratorio de operaciones unitarias, gracias a ejemplos de actividades profesionales que se nos menciona: algunos de los graduados trabajarán en laboratorios de química... realizando investigación y desarrollo o ingeniería de calidad; en el diseño de procesos y productos, y de sistemas de control; en instalaciones de campo, supervisando construcción y arranque de plantas manufactureras; en pisos de producción, en la inspección y detección de fallas, y en la mejora de operaciones (Felder, 2018, p. 4).

## 1.3 El agua a nivel global

A nivel mundial se estima la disponibilidad de agua promedio anual en 1 386 billones de hectómetros cúbicos (hm<sup>3</sup>). De ésta, 35 billones de hm<sup>3</sup> son agua dulce (2.5%). Del agua dulce, el 70% no están disponibles por encontrarse en glaciares, nieve, hielo; 10.5 millones de hm<sup>3</sup> se encuentran como agua subterránea, solamente 0.14 billones de hm<sup>3</sup> se encuentran en lagos, ríos, humedad en suelo y aire, humedales y plantas (CONAGUA, 2019).

Aunque, se ha dicho anteriormente, el problema de la contaminación del agua no es técnicamente un problema difícil, el campo es de gran amplitud y de suficiente complejidad como para justificar el que diferentes disciplinas deben conjuntarse para conseguir óptimos resultados con un coste mínimo. (Ramalho, 1996, p. 2).

### 1.3.1 El agua en México

En los ríos del país escurren 396 km<sup>3</sup> de agua anualmente, incluyendo las importaciones de otros países y excluyendo las exportaciones. Aproximadamente el 87% de este escurrimiento se presenta en 39 ríos, cuyas cuencas ocupan el 58% de la extensión territorial continental del país. En este sentido, el 65% del escurrimiento superficial pertenece a siete ríos: Grijalva-Usumacinta, Papaloapan, Coatzacoalcos, Balsas, Pánuco, Santiago y Tonalá, cuya superficie de las cuencas en suma representan el 22% de la superficie continental del país (CONAGUA, 2006).

La importancia del agua subterránea queda de manifiesto derivado de que el 64% del volumen para abastecimiento público, el 33% del que se destina al uso agropecuario y el 24% del que utiliza la industria autoabastecida, tienen ese origen. Para fines de administración del agua, el país se ha dividido en 653 acuíferos (CONAGUA, 2006).

## 1.4 Aguas residuales

El término aguas residuales incluye desechos líquidos y desechos transportados en agua de hogares, establecimientos comerciales e industrias, así como aguas pluviales y otras escorrentías superficiales. Las aguas residuales pueden contener altas concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos, microorganismos patógenos, así como productos químicos tóxicos (Drinan, Spellman, 2012).

Según Ramalho existen 4 principales fuentes fundamentales de aguas residuales, son:

- Aguas domésticas
- Aguas residuales industriales
- Escorrentías de usos agrícolas
- Pluviales

Si bien, las aguas residuales industriales tal como los otros tipos pueden tratarse dentro de las instalaciones de tratamiento de aguas, la mayoría de las veces es necesario sino en todos los casos que las mismas industrias cuenten con la infraestructura necesaria para proporcionar un pretratamiento (in situ) a sus aguas previo a ingresar al sistema residual público, generalmente recolectadas por sistemas de alcantarillado.

## 1.5 Tratamientos de aguas residuales

La ingeniería química es una base sólida y considerable para la entrada en el campo de las aguas residuales. El conocimiento de las cinéticas de reacciones, análisis de sistemas, balances máxicos..., tiene un especial valor para la corrección y tratamiento de aguas residuales. Puede asegurarse que la preparación básica en ingeniería química es significativa para entrar en este tipo de actividades (Ramalho, 1996, p. 2).

Las aguas residuales domésticas se componen fundamentalmente, en su carga contaminante, de materia orgánica en forma soluble o coloidal y de sólidos en suspensión (Ramalho, 1996, p. 76).

En una planta de tratamiento de aguas se hace uso de operaciones unitarias (Aplicación de fuerzas físicas) y de procesos unitarios (Adición de químicos o manejo de masas biológicas) para el tratamiento de un agua de este tipo.

Típicamente los tratamientos para aguas residuales se encuentran constituidos por la siguiente clasificación:

- Tratamientos primarios: estos se centran en la remoción de los sólidos suspendidos o cualquier otra partícula flotante inorgánica contenida en el agua residual.
- Tratamientos secundarios: aquí se remueven los materiales coloidales u orgánicos solubles mediante la aplicación de tratamientos biológicos.
- Tratamientos terciarios: comprenden los procesos para la reducción o remoción en el mejor de los casos de la concentración de impurezas residuales contenidas, las cuáles no fueron retiradas en los procesos y operaciones unitarias anteriores.

***Tratamientos Primarios***

<i>Cribado</i>
<i>Sedimentación</i>
<i>Flotación</i>
<i>Separación de aceites</i>
<i>Homogeneización</i>
<i>Neutralización</i>

Tabla 1.1. Tratamientos de aguas residuales primarios

***Tratamientos Secundarios***

<i>Lodos activados</i>
<i>Aireación prolongada (Procesos de oxidación)</i>
<i>Estabilización por contacto</i>
<i>Lagunas con aireación</i>
<i>Estabilización por lagunas</i>
<i>Filtros biológicos</i>
<i>Discos biológicos</i>
<i>Tratamientos anaerobios: procesos de contacto, filtros sumergidos.</i>

Tabla 1.2. Tratamientos de aguas residuales secundarios

Tabla 1.3. Tratamientos de aguas residuales terciarios

<b><i>Tratamientos Terciarios</i></b>
<i>Microtamizado</i>
<i>Filtración (Lecho de arena, antracita, diatomeas...)</i>
<i>Precipitación y coagulación</i>
<i>Adsorción (Carbón activado)</i>
<i>Intercambio iónico</i>
<i>Ósmosis inversa</i>
<i>Electrodialisis</i>
<i>Cloración y ozonización</i>
<i>Procesos de reducción de nutrientes</i>
<i>Otros</i>

Tabla 1.3. Tratamientos de aguas residuales terciarios

## 1.6 Ósmosis inversa

La ósmosis inversa es un proceso de separación utilizado en el tratamiento de agua y otros líquidos. Es una técnica de filtración en la que se aplica presión a través de una membrana semipermeable para separar los solventes y los solutos presentes en una solución.

En términos simples, durante el proceso de ósmosis inversa, el agua u otro solvente se fuerza a pasar a través de una membrana semipermeable desde una solución más concentrada hacia una solución menos concentrada. Esta membrana permite el paso del solvente, como el agua, mientras restringe el paso de la mayoría de los solutos, como sales, minerales, contaminantes y partículas más grandes.

## 1.7 Zeolitas

Las zeolitas son minerales de aluminosilicatos hidratados con una estructura tipo jaula que, alberga grandes áreas tanto externa como internamente. Poseen una estructura de carga negativa debido a la sustitución isomórfica de cationes en el mineral. Por lo tanto, tienen una afinidad fuerte hacia cationes y solo una pequeña afinidad hacia aniones o moléculas orgánicas. La *clinoptilolita* es la zeolita natural más abundante y, por lo tanto, es un material muy económico. Esta zeolita es muy eficiente para la remoción de nitrógeno amoniacal presente en aguas residuales (Garcés, Morante, 2012).

El uso de zeolitas ofrecen efectos superiores de filtración en comparación con los filtros de arena o de carbón activado; puede resultar en la obtención de un producto de similar calidad, pero con la ventaja de que estas requieren de tratamientos preventivos menos costosos. La estructura cristalina y porosa de las zeolitas puede retener partículas contaminantes de hasta 4 micras, como partículas en suspensión o cristales de arena fina, sales, entre otros. Además, las zeolitas naturalmente se encuentran cargadas negativamente, y pueden adsorber cationes de como metales pesados, entre otros elementos.

Existen medios filtrantes que han recibido pretratamientos antes de su venta; existen otros medios filtrantes los cuáles vienen sin tratamientos previos, por lo que se requiere tratar la zeolita antes de ingresarla a su respectivo tanque, para ello se debe preparar una solución de salmuera (Agua con cristales de NaCl) con una concentración la cual dependerá de las características del efluente a tratar. Una vez lista la salmuera, la zeolita se sumerge en ella y se deja reposar un lapso de 12-24 horas, esto para que los cristales se saturen de iones de sodio lo más posible, una vez que el tiempo ha transcurrido, se debe lavar el material filtrante con agua, en este punto las zeolitas están listas para usarse como medio filtrante.

Tabla 1.4. Clasificación de algunas zeolitas

		Volumen de poro *
<i>Grupo de las analcimas</i>		
Analcimas	$\text{Na}_{16} (\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.18
Wairakita	$\text{Ca}_8 (\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.18
Leucita	$\text{K}_{16} (\text{Al}_{16}\text{Si}_{32}\text{O}_{96})$	0
<i>Grupo de las natrolitas</i>		
Natrolita	$\text{Na}_{16} (\text{Al}_{16}\text{Si}_{24}\text{O}_{80}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.21
Edingtonita	$\text{Ba}_2 (\text{Al}_4\text{Si}_6\text{O}_{20}) 6\text{H}_2\text{O}$	0.35
Thomsonita	$\text{Na}_4\text{Ca}_8 (\text{Al}_{20}\text{Si}_{20}\text{O}_{80}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.32
<i>Grupo de las filipsitas</i>		
Filipsita	$(\text{K},\text{Na})_5 (\text{Al}_5\text{Si}_{11}\text{O}_{32}) 10\text{H}_2\text{O}$	0.30
Garronita	$\text{NaCa}_{2.5} (\text{Al}_6\text{Si}_{10}\text{O}_{32}) 14\text{H}_2\text{O}$	0.41
Gismondina	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_8\text{O}_{32}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.47
<i>Grupo de las heulanditas</i>		
Heulandita	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_{28}\text{O}_{72}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.35
Clinoptilolita	$\text{Na}_6 (\text{Al}_6\text{Si}_{30}\text{O}_{72}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.34
Estilbita	$\text{Na}_2\text{Ca}_4 (\text{Al}_{10}\text{Si}_{26}\text{O}_{72}) 32\text{H}_2\text{O}$	0.38
<i>Grupo de las mordenitas</i>		
Mordenita	$\text{Na}_8 (\text{Al}_8\text{Si}_{40}\text{O}_{96}) 24\text{H}_2\text{O}$	0.26
Ferrierita	$\text{Na}_{1.5}\text{Mg}_2 (\text{Al}_{5.5}\text{Si}_{30.5}\text{O}_{72}) 18\text{H}_2\text{O}$	0.24
Epistilbita	$\text{Ca}_5 (\text{Al}_6\text{Si}_{18}\text{O}_{48}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.34
<i>Grupo de las chabasitas</i>		
Chabasita	$\text{Ca}_2 (\text{Al}_4\text{Si}_8\text{O}_{24}) 13\text{H}_2\text{O}$	0.48
Erionita	$(\text{Ca},\text{Mg},\text{Na},\text{K})_{4.5} (\text{Al},\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) 27\text{H}_2\text{O}$	0.36
Zeolita L	$\text{K}_6\text{Na}_3 (\text{Al}_9\text{Si}_{27}\text{O}_{72}) 21\text{H}_2\text{O}$	0.28
<i>Grupo de las faujasitas</i>		
Faujasitas (X, Y)	$\text{Na}_{12}\text{Ca}_{12}\text{Mg}_{11} (\text{Al}_{59}\text{Si}_{135}\text{O}_{384}) 26\text{H}_2\text{O}$	0.53
Zeolita A	$\text{Na}_{12} (\text{Al}_{12}\text{Si}_{12}\text{O}_{48}) 27\text{H}_2\text{O}$	0.47
Zeolita ZK-5	$\text{Na}_{30} (\text{Al}_{30}\text{Si}_{66}\text{O}_{192}) 98\text{H}_2\text{O}$	0.45
<i>Grupo de las laumontitas</i>		
Laumontita	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_{16}\text{O}_{48}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.35
Yugawaralita	$\text{Ca}_4 (\text{Al}_8\text{Si}_{20}\text{O}_{56}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.30
<i>Grupo de las pentasil</i>		
Zeolita ZSM-5 } Zeolita ZSM-11 }	$\text{Na}_n (\text{Al}_n\text{Si}_{96-n}\text{O}_{192}) 16\text{H}_2\text{O}$	0.32

\*  $\text{cm}^3$  de agua/ $\text{cm}^3$  de cristal.

Fuente: Fondo de cultura económica (1988).

## 1.8 Propiedades fisicoquímicas

Tanto los elementos como las sustancias que conocemos se caracterizan por las diferentes propiedades que todas estas poseen, mismas que les otorgarán ciertas singularidades: propiedades físicas y químicas.

Las propiedades físicas se pueden medir y en muchos casos observar, caracterizadas por no presentar cambios en su composición o alteraciones en su estructura molecular. Por ejemplo, podemos medir el punto de fusión y de ebullición del agua con ayuda de un termómetro; el agua en estado líquido y sólido difieren únicamente en apariencia, o visto a nivel molecular, tanto la energía contenida y la agrupación en la que las moléculas se encuentran agrupadas, por lo que las propiedades químicas no se vieron afectadas o en otras palabras, la estructura de sus moléculas no tuvo cambio alguno.

### 1.8.1 Dureza

La dureza del agua es una medida de la concentración de sales minerales, principalmente calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) y magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), presentes en el agua. La dureza del agua se mide generalmente en partes por millón (ppm) y puede tener implicaciones en la calidad del agua y en la vida útil de los equipos y sistemas de plomería. Por lo tanto, es común utilizar ablandadores de agua u otros métodos de tratamiento para reducir la dureza y prevenir los efectos negativos asociados con acumulación o concentración de sales pesadas dentro de un sistema.

### 1.8.2 Sólidos disueltos totales (TDS)

TDS es el acrónimo de "Total Dissolved Solids", que en español significa "sólidos disueltos totales". Se refiere a la medida de la concentración de sustancias disueltas en el agua. Estas sustancias pueden ser sales minerales, minerales inorgánicos, compuestos orgánicos, iones y otros materiales disueltos en el agua.

La concentración de TDS se expresa generalmente en partes por millón (ppm) o miligramos por litro (mg/L). Cuanto mayor sea la concentración de TDS, mayor será la cantidad de sustancias disueltas en el agua.

### 1.8.3 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica del agua es una medida de su capacidad para conducir la corriente eléctrica. Se debe a la presencia de iones disueltos en el agua, como los iones de sodio ( $\text{Na}^+$ ), cloruro ( $\text{Cl}^-$ ), calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), entre otros.

Cuando se aplica un campo eléctrico a través del agua, los iones disueltos se desplazan en respuesta a la carga eléctrica, lo que permite el flujo de corriente. Cuanto mayor sea la concentración de iones disueltos, mayor será la conductividad eléctrica del agua.

La conductividad eléctrica se mide en unidades de Siemens por metro (S/m) o microsiemens por centímetro ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ). El agua pura (sin ningún soluto disuelto) tiene una conductividad eléctrica muy baja, en el rango de microsiemens, sin embargo, la presencia de sales, minerales u otros compuestos disueltos en el agua aumenta su conductividad.

### 1.8.4 Concentración de cloro

El cloro en el agua se refiere a la presencia de compuestos de cloro, principalmente el cloro libre ( $\text{Cl}_2$ ), hipoclorito de sodio ( $\text{NaOCl}$ ) o cloraminas, que se utilizan como desinfectantes para eliminar bacterias, virus y otros microorganismos en el suministro de agua potable.

Debido a sus consideraciones dañinas en cuanto a la salud, en algunas situaciones, se pueden utilizar técnicas de descloración o tratamientos alternativos, como la filtración o el uso de carbón activado para eliminar o reducir el cloro y sus subproductos en el agua

### 1.8.5 pH

El pH es una medida de acidez o alcalinidad de una solución. Representa la concentración de iones de hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) presentes en la solución. El pH se mide en una escala que va desde 0 hasta 14.

- Un pH de 0 a 6.9 indica una solución ácida, donde un valor de 0 es altamente ácido.
- Un pH de 7 se considera neutro, lo que significa que la concentración de iones  $\text{H}^+$  es igual a la de iones hidróxido ( $\text{OH}^-$ ). El agua pura tiene un pH de 7.
- Un pH de 7.1 a 14 indica una solución alcalina o básica, donde un valor de 14 es altamente alcalino.

Es importante tener en cuenta que la escala de pH es logarítmica, lo que significa que un cambio de un punto en la escala de pH representa un cambio de diez veces en la concentración de iones  $\text{H}^+$ .

El pH es una medida ampliamente utilizada en diversas aplicaciones, como el análisis de calidad del agua, la industria alimentaria, la agricultura, la química y la medicina. El mantenimiento de un pH adecuado es esencial para garantizar el funcionamiento correcto de procesos biológicos, reacciones químicas y sistemas acuosos en general.

## 1.9 Tratamientos físicos

Estos se refieren a la eliminación de contaminantes por fuerzas físicas, los cuáles generalmente funcionan como pretratamientos para dar entrada a los químicos o biológicos según sea el caso.

Tamizado: el tamizado es un método de separación de partículas basado exclusivamente en el tamaño de las mismas. En el tamizado industrial, los sólidos se colocan sobre la superficie del tamiz. Las partículas de menor tamaño, o finos, pasan a través de las aberturas del tamiz; mientras que las de mayor tamaño, o colas, no pasan. Un solo tamiz puede realizar una separación en dos fracciones. Se les llama fracciones no clasificadas, ya

que, aunque se conozca el límite superior o inferior de los tamaños de partícula de cada una de las fracciones, no se conoce el otro límite. El material que se hace pasar a través de una serie de tamices de diferentes tamaños se separa en fracciones clasificadas por tamaños, es decir, fracciones cuyas partículas se conocen por su tamaño máximo y mínimo. En ocasiones, el tamizado se realiza en húmedo, si bien lo más frecuente es operar en seco. (McCabe, W., 2007, p. 1049)

**Sedimentación:** muchos métodos de separación mecánica se basan en la sedimentación de las partículas sólidas o gotas de líquido a través de un fluido, impulsadas por la fuerza de gravedad o por la fuerza centrífuga... El fluido puede ser un gas o un líquido; puede estar en movimiento o en reposo. En algunos casos, el objetivo del proceso es separar las partículas de una corriente de fluido con el fin de eliminar contaminantes del fluido o bien recuperar las partículas, como en el caso de eliminación de polvos y humos del aire o gases de combustión, o la separación de sólidos de líquidos residuales. (McCabe, W., 2007, p. 1106)

**Filtración:** la filtración es la separación de partículas sólidas a partir de un fluido mediante el paso del fluido a través de un medio filtrante o pared separadora sobre el que se depositan los sólidos. Las filtraciones industriales van desde un sencillo colado hasta separaciones altamente complejas. El fluido puede ser un líquido o un gas, y la corriente valiosa procedente de un filtro puede ser el fluido, los sólidos o ambos productos... Con frecuencia la alimentación se modifica de alguna forma mediante un pretratamiento, a fin de aumentar la velocidad de filtración por medio de calentamiento, recristalización o adición de un “coadyuvante de filtración”, tal como celulosa o tierra de diatomeas. (McCabe, W., 2007, p. 1054)

## 1.10 Tratamientos químicos

Estos tratamientos implican la adición de agentes químicos, los cuáles reaccionarán con el medio para eliminar o separar contaminantes.

**Floculación:** la floculación es un proceso en el cual se añaden ciertos productos químicos (Floculantes) al agua con el fin de que las partículas que se encuentran suspendidas se agrupen y formen conglomerados de mayor tamaño, haciendo más fácil la remoción de estos por medio de procesos físicos, ya sea por sedimentación o filtración.

**Desinfección:** es un proceso en el cual un agente externo al medio interviene en este, con el fin de eliminar los agentes o sistemas biológicos presentes, inhibiendo su crecimiento y proliferación, asegurando un sistema libre de hongos, virus, bacterias, esporas, etc.

**Ajuste de pH:** en este proceso se tiende a modificar el nivel ya sea de acidez o alcalinidad de una sustancia con el fin de alcanzar niveles específicos del medio (En muchos casos críticos para prevenir ciertos deterioros de los materiales u optimizar la eficiencia de un proceso). Este proceso puede llevarse a cabo por adición de agentes externos como sustancias químicas, es decir, si se desea alcalinizar un medio se puede optar por añadir soluciones de hidróxido de sodio (Sosa cáustica) o carbonato de sodio; si se desea acidificar un medio se puede optar por añadir ácido clorhídrico o dióxido de carbono, esto en caso de

que el medio a tratar no sea reactivo por adición de estos compuestos o no cause algún inconveniente para el producto terminado.

## 1.11 Tratamientos biológicos

En estos tratamientos, los contaminantes o agentes externos son transformados o eliminados usando organismos o procesos biológicos.

Fotodegradación: la degradación...inducida por la luz es denominada foto degradación, que se refiere a los cambios físicos y químicos producidos por la radiación UV o luz visible. Para que se lleve a cabo este tipo de degradación la radiación debe ser absorbida... Por lo tanto, es un pre-requisito la existencia de grupos cromóforos (Que absorben la luz), generalmente estos grupos absorben radiación en un rango a longitudes de onda menores de 400 nanómetros. (Limón, 2001, p.21)

Degradación anaeróbica: es el proceso de estabilización de la materia orgánica en un medio sin oxígeno, principalmente a partir de bacterias que descomponen una serie de productos gaseosos (Metano, dióxido de carbono, hidrógeno, entre otros) o biogas y otros productos donde se encuentran la mayor parte de los componentes minerales (N, P, K, Ca, etc.). (Sánchez, 2007, p. 3)

Este proceso es en ausencia de oxígeno, 2 ejemplos de este tipo de tratamiento pueden ser por digestión termofílica o mesofílica.

Degradación aeróbica: a grandes rasgos, el tratamiento aeróbico ocurre en presencia de oxígeno, donde los microorganismos presentes consumen la materia orgánica y la convierten de dióxido de carbono.

## 1.12 Purificación del agua en una PTAP

Una planta de tratamiento de agua potable (PTAP) es una instalación que sigue una serie de procesos cuya función es extraer la mayor cantidad de agentes externos o contaminantes que afecten las características químicas, físicas o biológicas naturales del agua, con el fin que se cumplan con los estándares mínimos de calidad establecidos para consumo humano.



Figura 2. Etapas de proceso para la purificación de agua

Dentro de cada uno de los procesos anteriormente mostrados se llevan a cabo las etapas típicas para lograr transformar el agua cruda proveniente de la red de distribución pública en agua purificada distribuida dentro de las instalaciones de la Facultad de Ingeniería Química y facultades aledañas; en esta red típica de purificación o tratamiento se describe una combinación de procesos físicos, químicos y biológicos indispensables en muchas plantas de tratamiento de agua, ya sean plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) o plantas de tratamiento de agua purificada (PTAP).

## Capítulo II

# Operación de la planta y medición de parámetros

## 2.1 Operación de la planta para la producción de agua purificada

*Nota: Es importante aclarar que varias de las válvulas las cuales están presentes dentro del arreglo para la producción de agua se encuentran abiertas por “default”, ya que, al contar con un arreglo de bombas hidroneumáticas no existe necesidad de abrir cada una de las válvulas presentes en el arreglo de tuberías, es decir, la apertura de válvulas específicas dentro del arreglo permiten el continuo abastecimiento de agua.*

1. Verificar que las condiciones del garrafón o del recipiente a llenar sean adecuadas de acuerdo con las siguientes tablas:

Procedimiento	Pasos	Descripción
1. Reconocimiento	1.1	Ubicar e identificar los garrafones en estado óptimo en el área de recepción; visualizando anomalías físicas.
2. Pruebas.	2.1	Colocar horizontalmente el garrafón (Lleno) y cerrado sobre una superficie sin desnivel.
	2.2	Ejercer una ligera presión sobre los laterales del cuerpo del envase.
	2.3	Observar que no existan filtraciones ni entradas de aire.
3. Finalizar	3.1	Si se observa alguna anomalía, dar aviso el encargado y al cliente.
	3.2	En caso de no presentar anomalías, el garrafón puede ser entregado al cliente.

Tabla 2.1. Inspección de roturas o agrietamientos para garrafones.

Procedimiento	Pasos	Descripción
Reconocimiento	1.1	Ubicar e identificar los garrafones en estado óptimo en el área de recepción; visualizando manchas.
Pruebas.	2.1	Sujetar firmemente el garrafón por la boquilla y el asa.
	2.2	Observar a contraluz en algún lugar iluminado si la mancha es externa o interna.
	2.3	En caso de existir alguna mancha interna, dar aviso al encargado de laboratorio y al cliente.
Finalizar	3.1	En caso de que la mancha pueda ser removida o tratada fácilmente, llevar a cabo un lavado dentro de la planta tratadora de agua en la zona correspondiente.
	3.2	En caso de remoción, se procede a hacer la entrega al cliente; en caso de que la mancha persista negar el servicio y notificar al responsable del laboratorio y al cliente.

Tabla 2.2. Inspección de manchas para garrafones.

2. Verificar que las debidas conexiones de los equipos y/o accesorios se encuentren debidamente conectadas o energizadas.
3. Verificar que el tanque de almacenamiento 2 (Véase en el listado de figuras; figura 2.10) contenga un nivel suficiente de agua. En caso de que no lo contenga seguir la siguiente secuencia de pasos.
  - a) Para suministrar la cantidad necesaria abrir la válvula 11 (Véase en el listado de figuras; figura 2.7)
  - b) Encender el filtro de ósmosis inversa cambiando de posición el interruptor correspondiente (Puede encontrarse encendido por default).
  - c) Una vez alcanzado el nivel deseado de agua en el tanque de almacenamiento 2, apagar el filtro de ósmosis inversa cambiando de posición su respectivo interruptor y cerrar totalmente la válvula 11.

4. Verificar que el regulador 1 (Véase en el listado de figuras; figura 2.30) se encuentre energizado y encenderlo, cambiando la posición de su respectivo interruptor hasta que este destelle una señal lumínica.
5. Verificar que el generador de ozono 1 (Véase en el listado de figuras; figura 2.12) se haya encendido automáticamente, en caso de que presente alguna falla o mal funcionamiento dar aviso al encargado de laboratorio.
6. Abrir la válvula 19 (Véase en el listado de figuras; figura 2.12).
7. En caso de que el garrafón o envase presente partículas ajenas al contenido de este o de fácil remoción, seguir la siguiente secuencia de pasos con los previos ya realizados:
  - a. Para un lavado correcto del garrafón, colocarlo boca abajo o con la boquilla de este dentro del contenedor de lavado delantero.
  - b. Abrir la válvula 32 (Véase en el listado de figuras; figura 2.29).
  - c. Rotar el garrafón durante 10 segundos, asegurándose de eliminar cualquier residuo que esté contenido dentro de este.
8. Introducir el garrafón dentro de la zona de llenado de producto terminado y abrir la válvula 21. (Véase en el listado de figuras; figura 2.16).

### 2.1.2 Paro de agua purificada

1. Cerrar la válvula 21 (Véase en el listado de figuras; figura 2.16).
2. Retirar y sellar el garrafón o envase correspondiente con su respectiva tapa y linner (En caso de contar con este).
3. Cerrar la válvula 19 (Véase en el listado de figuras; figura 2.12).
4. Apagar el regulador 1.

## 2.2 Operación de la planta para la producción de agua desionizada.

1. Verificar que las debidas conexiones de los equipos y/o accesorios se encuentren debidamente conectadas o energizadas.
2. Verificar que el tanque de almacenamiento 3 (Véase en el listado de figuras; figura 2.22) contenga un nivel suficiente de agua. En caso de que no lo contenga seguir la siguiente secuencia de pasos.
  - a. Para suministrar la cantidad necesaria abrir la válvula 22 (Véase en el listado de figuras; figura 2.17).
  - b. Una vez alcanzado el nivel deseado de agua en el tanque de almacenamiento 3, cerrar la válvula 22 (Véase en el listado de figuras; figura 2.17).

3. Verificar que el regulador 2 (Véase en el listado de figuras; figura 2.31) se encuentre energizado y encenderlo, cambiando la posición de su respectivo interruptos hasta que este destelle una señal lumínica.
4. Encender de manera manual el generador de ozono 2 (Véase en el listado de figuras; figura 2.25) pulsando 1 vez el botón resaltado en rojo “On/Off”.
5. En caso de que el garrafón o envase presente partículas ajenas al contenido de este o de fácil remoción, seguir la siguiente secuencia de pasos con los previos ya realizados:
  - a. Para un lavado correcto del garrafón, colocarlo boca abajo o con la boquilla de este dentro del contenedor de lavado delantero.
  - b. Abrir la válvula 32 (Véase en el listado de figuras; figura 2.29).
  - c. Rotar el garrafón durante 10 segundos, asegurándose de eliminar cualquier residuo que esté contenido dentro de este.
6. Introducir el garrafón dentro de la zona de llenado de producto terminado y abrir la válvula 31. (Véase en el listado de figuras; figura 2.28).

### 2.2.2 Paro de agua desionizada

1. Cerrar la válvula 31. (Véase en el listado de figuras; figura 2.28).
2. Retirar y sellar el garrafón o envase correspondiente con su respectiva tapa y linner.
3. Apagar el generador de ozono 2 (Véase en el listado de figuras; figura 2.25).
4. Apagar el regulador 2.

## 2.3 Pruebas fisicoquímicas

Debido a los diferentes procesos que se llevan a cabo en toda la línea de producción de agua purificada y desionizada, se debe tener en cuenta la medición de parámetros fisicoquímicos en etapas clave del proceso, esto nos permitirá saber si existen anomalías o deterioros en los componentes o inclusive en el mismo equipo, el cual está llevando a cabo la remoción de algún contaminante o cambio en las propiedades del efluente.

La toma de las muestras para el análisis de las propiedades del agua tratada serán única y exclusivamente de las válvulas o llaves 2, 5, 7, 10, 21 y 31, donde, las pruebas fisicoquímicas a desempeñar para cada muestra serán detalladas a continuación:

<i>Prueba</i>	<i>N° de válvula</i>					
	<i>2</i>	<i>5</i>	<i>7</i>	<i>10</i>	<i>21</i>	<i>31</i>
<i>Dureza</i>				✓		
<i>TDS</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Conductividad eléctrica</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓
<i>Cloro</i>		✓	✓			
<i>pH</i>	✓	✓	✓	✓	✓	✓

Tabla 4.1. Parámetros fisicoquímicos por medir.

Las pruebas fisicoquímicas se realizan 3 veces por semana, las cuales llevan a cabo el personal de servicio social o prácticas profesionales que se encuentren dentro del laboratorio; generalmente se realizan al inicio del día mientras que exista personal disponible, priorizando la entrega de materiales y/o equipos, herramientas, a los estudiantes que asisten a prácticas de laboratorio.

Ya que todas las pruebas se realizan con ayuda de un conductímetro o kits analizadores, pueden ser realizados por personal capacitado sin la supervisión del encargado de laboratorio.

Cualquier anomalía que pueda presentar el conductímetro o carencia de los kits analizadores deberá reportarse al encargado del laboratorio.

## 2.4 Calibración del conductímetro

En dado caso de que el conductímetro presente o arroje y valores bastante imprecisos en comparación con los datos que han sido registrados en la bitácora de las pruebas fisicoquímicas, deberá realizarse un mantenimiento previo a la realización de las pruebas.

Para ello se usa una solución de calibración de conductímetro (Véase en el listado de figuras; figura 2.32)., la cual encontramos dentro de los anaqueles de compuestos inorgánicos dentro del laboratorio de operaciones unitarias.

Una de las principales características de esta sustancia buffer es que ha sido diseñada para mantener una constante conductancia eléctrica, donde su valor viene dado por el mismo proveedor o fabricante:

1. Revisar que el conductímetro se encuentre en condiciones funcionales; en caso de ser necesario, colocar las baterías retirando la tapa trasera.
2. Encender el conductímetro y presionar la tecla “MODE” las veces necesarias hasta que en el panel se visualicen las letras “COND”.
3. En un vaso de precipitados colocar la cantidad suficiente de la solución buffer, a fin de que el electrodo pueda sumergirse completamente en la solución.
4. Esperar a que en el panel digital se muestre un valor cercano o igual que el que menciona el fabricante (1413  $\mu\text{s}/\text{cm}$  a 25°C) y presionar a continuación la tecla “CAL”.
7. Regresar la solución buffer a su envase correspondiente.
8. Enjuagar muy bien el electrodo con agua desionizada.

## 2.5 Dureza

La muestra para realizar esta prueba debe provenir exclusivamente de la válvula o llave 10, ya que esta se encuentra a la salida del filtro de intercambio iónico y pasando el primer filtro pulidor, donde, gracias al primer filtro, las sales pesadas o iones de calcio y magnesio que penetran dentro de la resina del intercambiador iónico son remplazadas por iones de sodio.

1. Obtener el kit “Water hardness test kit” o “Prueba analizadora de dureza de agua” del anaquel A.
2. Obtener una muestra de agua de la llave correspondiente en un vaso de precipitados limpio.
3. Dentro de nuestro kit analizador de dureza encontraremos un vial de plástico con una franja o línea sobrepuesta; verteremos nuestra muestra en el vial correspondiente hasta la línea marcada.

4. Añadir 2 gotas de la solución #6 que se encuentra dentro de nuestro kit y mezclar; la mezcla virará a color violeta claro.
5. Cuidadosamente añadir gota por gota la solución #7 y continuar mezclando, contabilizar el número de gotas de la solución #7 añadidas a nuestra muestra hasta que vire a color azul; cada gota de la solución #7 que se añada hasta que la muestra vire a color azul equivale a 50ppm de dureza.

## 2.6 Sólidos disueltos totales (TDS)

La prueba para TDS se realiza en muestras provenientes de todas las válvulas.

1. Revisar que el conductímetro se encuentre en condiciones funcionales; en caso de ser necesario, colocar las baterías retirando la tapa trasera.
2. Encender el conductímetro y presionar la tecla “MODE” hasta que en el panel sean visibles las letras “TDS”.
3. En vasos de precipitados de 50ml limpios, obtener cada una de las muestras correspondientes.
4. Sumergir el electrodo dentro de la muestra, revolver y esperar a que el valor arrojado por el panel no presente variaciones en intervalos de 2-3 segundos.
  - a. Para poder registrar un dato fidedigno se puede acudir a los registros de días pasados dentro de la bitácora de pruebas fisicoquímicas (Calibrar en caso de ser necesario).
5. Anotar los datos obtenidos en la zona correspondiente de la bitácora.
6. Desechar el agua de las muestras, lavar y secar los vasos de precipitados utilizados.
7. Una vez realizadas las pruebas correspondientes, retirar las baterías de la parte trasera del conductímetro y guardar.

## 2.7 Conductividad eléctrica

La prueba para conductividad eléctrica se realiza en muestras provenientes de todas las válvulas.

1. Revisar que el conductímetro se encuentre en condiciones funcionales; en caso de ser necesario, colocar las baterías retirando la tapa trasera.
2. Encender el conductímetro y presionar la tecla “MODE” hasta que en el panel sean visibles las letras “COND”.
3. En vasos de precipitados de 50ml limpios, obtener cada una de las muestras correspondientes.
4. Sumergir el electrodo dentro de la muestra, revolver y esperar a que el valor arrojado por el panel no presente variaciones en intervalos de 2-3 segundos.

- a. Para poder registrar un dato fidedigno se puede acudir a los registros de días pasados dentro de la bitácora de pruebas fisicoquímicas (Calibrar en caso de ser necesario).
- A. Anotar los datos obtenidos en la zona correspondiente de la bitácora.
- B. Desechar el agua de las muestras, lavar y secar los vasos de precipitados utilizados.
- C. Una vez realizadas las pruebas correspondientes, retirar las baterías de la parte trasera del conductímetro y guardar.

## 2.8 Cloro

Las muestras para realizar esta prueba deben provenir de las válvulas o llaves 5 y 7; de la válvula o llave 5 se obtiene la muestra para conocer la concentración de cloro con la que viene el efluente de la red pública; de la válvula o llave 7 (La cual se encuentra a la salida del tanque de carbón activado) se mide el parámetro para verificar que nuestro filtro de carbón activado realice una de sus principales funciones de manera óptima.

- *Nota: al medir la concentración de cloro (ppm) y compararla con los colores de los viales correspondientes (Como señala el fabricante), este debe ser incoloro o ser similar al color dentro de la escala equivalente a 0.3 para considerarlo como despreciable.*
  - *Considerar enjuagar el vial por cada prueba hecha para evitar contaminación cruzada.*
1. Obtener el kit “Analizador de cloro y pH” del anaquel correspondiente.
  2. Obtener una muestra de agua de todas las llaves o válvulas correspondientes en vasos de precipitados de 50mL limpios.
  3. Dentro de nuestro kit analizador de dureza encontraremos un doble vial de plástico con código de colores (El color de la muestra virará a un color dentro de la escala correspondiente para poder realizar una comparación de la concentración de cloro en la muestra).
  4. Asegurarse que nuestro vial se encuentre limpio; llenar con la muestra correspondiente.
  5. Agregar 4 gotas de la solución “OTO (Ortotolidina)” y agitar el vial.
  6. Comparar el color de la muestra con la escala del vial y registrar los resultados.

## 2.9 pH

La prueba para la medición de pH se realiza en muestras provenientes de todas las válvulas.

- *Nota: la prueba de pH puede realizarse con tiras reactivas o con prueba de fenol rojo, dependiendo si hay existencias dentro del laboratorio,*

### 4.6.2 Medición de pH con tiras reactivas

1. Asegurarse de contar con las suficientes tiras reactivas para poder realizar todas las pruebas.
2. En vasos de precipitados de 50ml obtener cada una de las muestras correspondientes.
3. Colocar una tira reactiva por cada vaso de precipitados, asegurándose de que las 4 almohadillas estén completamente sumergidas, dejar reposar por 20s.
4. Analizar los colores obtenidos en las tiras con la escala de colores correspondiente y registrar los datos obtenidos.

### 4.6.3 Medición de pH con Kit analizador de pH

- *Considerar enjuagar el vial por cada prueba hecha para evitar contaminación cruzada.*
1. Obtener el kit “Analizador de cloro y pH” del anaquel correspondiente.
  2. Obtener una muestra de agua de todas las llaves o válvulas correspondientes en vasos de precipitados de 50mL limpios.
  3. Dentro de nuestro kit analizador de dureza encontraremos un doble vial de plástico con código de colores (El color de la muestra virará a un color dentro de la escala correspondiente para poder realizar una comparación del pH de la muestra).
  4. Asegurarse que nuestro vial se encuentre limpio; llenar con la muestra correspondiente.
  5. Agregar 4 gotas de la solución “Fenol rojo” a nuestro vial y agitar.
  6. Comparar el color de la muestra con la escala del vial y registrar los resultados.

# Capítulo III

## Mantenimientos preventivos, correctivos y normatividad

## 3.1 Tanques de almacenamiento

### 3.1.2 Limpieza

Es necesario que previo a la limpieza del tanque de almacenamiento predeterminado se cuente con cierto abasto de agua purificada y desionizada para poder satisfacer el requerimiento de los alumnos que desempeñan algún proceso experimental o simplemente para consumo.

1. Se debe vaciar toda la cantidad de agua posible que se encuentre dentro del tanque (Es posible que quede cierta cantidad remanente dentro del tanque) y cerrar las válvulas correspondientes (Entrada y salida).
2. De ser posible con ayuda de una bomba sumergible y un arreglo de mangueras lo suficientemente largo se puede retirar el agua remanente dentro del tanque; introducir la bomba sumergible hasta el fondo del tanque de almacenamiento correspondiente, energizar la bomba y colocar el extremo opuesto de la manguera hacia el drenaje.
3. Una vez retirada la mayor cantidad de agua posible con ayuda de pinzas de presión o una palanca desenroscar las uniones correspondientes.
4. Para mayor comodidad mover entre varias personas y con cuidado el tanque de almacenamiento a la salida de la PTAP.
5. Realizar una solución a partir de hipoclorito de sodio al 6% según indique el fabricante para desinfección de superficies y con ayuda de un escobillón o cepillo tallar las paredes y bordes del tanque (Esencialmente si existen manchas visibles de manchas verdes o amarillas, esto indica presencia de bacterias).
6. Una vez que se hayan removido las manchas y se haya asegurado de cepillar bien toda la superficie del tanque, enjuagar el escobillón o cepillo con agua, enjuagar el tanque y volver a cepillar las paredes y bordes de este para asegurarse de que existan la mínima cantidad de residuos de hipoclorito de sodio.
7. Posicionar el tanque de almacenamiento en su lugar correspondiente y enroscar las uniones universales con fuerza (Preferentemente usar cinta teflón en la cuerda de las roscas para evitar posibles fugas después de realizar las conexiones).
8. Realizar una prueba para comprobar que las conexiones y el sistema de tratamiento funcionan correctamente, en caso de presentar una fuga apretar con más fuerza o desenroscar y realizar un análisis a fondo según sea el caso.

## 3.2 Válvulas, accesorios y conexiones

### 3.2.2 Reemplazo

El inconveniente más común que se tiene con las válvulas, conexiones y los accesorios que conforman la red de proceso es el desgaste por uso, lo que conlleva principalmente a agrietamientos, rupturas y por ende fugas o goteo.

Ya que para la compra de estos dispositivos se necesita de la autorización y el capital proporcionado por la dirección de la facultad, es necesario llenar los oficios correspondientes y hacerlos llegar a la persona que autoriza (Dr. Daniel Cruz González, responsable de contabilidad) y recibir respuesta, lo que implica tiempo muerto o perdido en el que la planta no está funcionando de manera óptima, lo que conlleva a improvisaciones dentro del arreglo; ya sea cubrir con cinta o colocar resinas en la parte que se ha detectado la fuga.

Una vez que se tienen los accesorios disponibles se puede realizar el reemplazo.

1. Identificar la zona y accesorio el cual debe cambiarse por uno nuevo; puede ser un tramo de tubo de PVC, una válvula, una conexión (Tee, cruz, codos, uniones universales o de transición, reducciones o ampliaciones, tapones, etc.).
2. Según sea el arreglo, cerrar las válvulas anteriores y posteriores para evitar el paso del efluente hacia la zona a reparar.
  - *Nota: es importante mencionar que existía un remanente de agua dentro de la zona a reparar; especialmente si se trata de una sección con un tubo, por lo tanto, se recomienda tener a la mano un molde o bandeja, trapos secos y limpios para evitar que el agua se riegue sobre el suelo.*
3. Con ayuda de una palanca o unas pinzas de presión desenroscar la válvula o accesorio correspondiente y reemplazar por el nuevo; siempre se debe de tener en cuenta según sea el tipo de válvula a reemplazar y el sentido de flujo en caso de ser necesario, si se trata de una válvula bidireccional no habrá problema.
4. Hacer entrega de la válvula o accesorio deteriorado al responsable del laboratorio.
5. Colocar la nueva válvula o accesorio.
6. Colocar cinta teflón sobre de la cuerda de nuestra válvula o accesorio reemplazado.
7. Enroscar muy bien nuestra válvula o accesorio para evitar posibles fugas o goteo.
8. Realizar una prueba para comprobar que las conexiones y el sistema de tratamiento funcionan correctamente, en caso de presentar una fuga apretar con más fuerza o desenroscar y realizar un análisis a fondo según sea el caso.

## 3.3 Filtros pulidores

### 3.3.2 Reemplazo

Los filtros pulidores cuentan con una vida útil de operación según sean las especificaciones del fabricante; si el personal o encargado desea saber cuál es la condición del filtro una vez que se aproxima el término de su vida útil se debe realizar una prueba visual, desmontado el filtro de su lugar correspondiente como se recomienda a continuación.

Ya que para la compra de estos dispositivos se necesita de la autorización y el capital proporcionado por la dirección de la facultad, es necesario llenar los oficios correspondientes y hacerlos llegar a la persona que autoriza y recibir respuesta, lo que implica tiempo muerto o perdido en el que la planta no está funcionando de manera óptima.

Una vez que se ha decidido por cambiar el filtro pulidor y se cuenta con inventario existente se procede a realizar el reemplazo:

1. Identificar la zona en la cual se encuentra nuestro filtro pulidor.
2. Según sea el arreglo, cerrar las válvulas anteriores y posteriores para evitar el paso del efluente hacia la zona a reparar.
  - *Nota: es importante mencionar que existía un remanente de agua dentro del filtro a reemplazar, ya que se encuentra totalmente inundado; se recomienda tener a la mano un molde o bandeja, trapos secos y limpios para evitar que el agua se riegue sobre el suelo.*
3. Con ayuda de una palanca o unas pinzas de presión desenroscar las conexiones anteriores y posteriores del filtro; siempre se debe tener en cuenta según sea el tipo de empaque si se trata de un sentido de flujo unidireccional, si se trata de un empaque bidireccional no habrá problema.
4. Sacar el filtro deteriorado de su empaque y hacer entrega al responsable del laboratorio.
5. Lavar muy bien el empaque del filtro.
6. Colocar el nuevo filtro dentro de su empaque.
7. Colocar cinta teflón sobre de la cuerda de las conexiones universales anteriores y posteriores de nuestro filtro reemplazado.
8. Enroscar muy bien nuestras conexiones para evitar posibles fugas o goteo.
9. Realizar una prueba para comprobar que las conexiones y el sistema de tratamiento funcionan correctamente, en caso de presentar una fuga apretar con más fuerza o desenroscar y realizar un análisis a fondo según sea el caso.

## 3.4 Bombas hidroneumáticas

### 3.4.2 Purgado

Existe una gran ventaja que se tiene al usar bombas hidroneumáticas en comparación de bombas tradicionales; el optar por bombas hidroneumáticas dentro de nuestra instalación va a permitir que nuestro efluente tenga una presión determinada a lo largo de su recorrido por toda la red de tratamiento sin uso de la fuerza de gravedad. La presión, capacidad, caudal dentro de nuestra red viene especificada por el fabricante según sea el tipo de bomba hidroneumática a instalar.

Una de las principales afectaciones a las bombas neumáticas e hidroneumáticas es la entrada de aire a nuestro dispositivo, lo cual puede causar una mala distribución del efluente por la red o incluso el deterioro o daño a nuestro equipo, por lo cual se recomienda el purgado, que no es más que la eliminación del aire dentro de nuestro equipo

## 3.5 Filtro de arena, carbón activado e intercambio iónico

### 3.5.2 Retro lavado

El retro lavado de la mayoría de los filtros en una planta tratadora de agua funcionan de manera automática, se activan cuando la acumulación de partículas y/o sedimentos en el filtro alcanzan un nivel que puede afectar su eficiencia. Este proceso de limpieza implica invertir el flujo de agua a través del filtro para poder eliminar todas las impurezas que han sido acumuladas durante el lapso de operación, y así, poder restablecer la capacidad de filtración del medio.

La frecuencia del retro lavado puede programarse acorde a la capacidad de producción de la planta y otros factores, por ejemplo: la calidad del efluente proveniente de la red pública (Carga de contaminantes) y/o el diseño específico de la planta.

Estos filtros generalmente cuentan con sensores que evalúan la presión y flujo de agua a través de estos, para determinar si es necesario realizar un retro lavado previo a las fechas programadas; en otros términos, el retro lavado puede hacerse cuando el sistema detecta una pérdida de carga a través del filtro, lo que es equivalente a una acumulación sumamente considerable de partículas.

Para iniciar un retro lavado de manera manual, el operador deberá presionar por un lapso de 3 segundos los botones de “reciclaje”, generalmente denotados como una flecha torcida y en algunos casos de color verde.

## 3.6 Normatividad

### 3.6.2 NRF-010-PEMEX-2001 “Espaciamientos mínimos y criterios para la distribución de instalaciones industriales en centros de trabajo de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios”.

#### Resumen

A pesar de que la norma NRF-010-PEMEX-2001 sea aplicable en centros de trabajos de PEMEX y organismos subsidiados, además de considerar a la planta tratadora de agua como un espacio sin riesgo de incendio según la NOM-002-STPS-2012, es importante señalar las directrices para la disposición física de los equipos dentro de la red de producción, así como aspectos de seguridad, eficiencia operativa, entre otros aspectos.

Según la NRF-010-PEMEX-2001, menciona que: *el establecimiento de espaciamientos de separación entre equipos e instalaciones obedece a varios criterios, entre los que se cuentan la existencia de espacios abiertos que favorezcan la dispersión de gases y vapores de hidrocarburos, la reducción de daños por explosión o por exposición al fuego y las facilidades de acceso para el desempeño de maniobras contra incendios, evitando el congestionamiento o la concentración de equipos o instalaciones para reducir las pérdidas por daños a la propiedad. Actualmente, no existen Normas Mexicanas específicas para la determinación de espaciamientos de separación en instalaciones industriales, basadas en los criterios mencionados en el párrafo anterior, sino recomendaciones emitidas por agrupaciones de compañías reaseguradoras internacionales y por algunas firmas industriales relacionadas con el diseño y construcción de plantas de proceso. Sin embargo, los espaciamientos propuestos por estas firmas no consideran diversos factores de carácter preventivo que favorecen la seguridad de las instalaciones, las cuales permiten la disminución de los espaciamientos de separación para el aprovechamiento óptimo de los terrenos (Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios, 20 de febrero de 2001).*

Es de suma importancia seguir una normativa; en muchos casos podemos considerar distintos aspectos en los cuáles se tendrá un mejor desempeño:

- Seguridad operativa: a grandes rasgos, la norma de espaciamiento mínimo está diseñada para garantizar la seguridad operativa. La aplicación de esta norma en una planta tratadora de agua puede prevenir riesgos asociados con la disposición inapropiada de equipos, accesorios y estructuras, incluso si no existe riesgo de incendio en el centro de trabajo.
- Prevención de riesgos: aunque el riesgo de incendio no es el foco principal en una planta tratadora de agua, existen otros riesgos presentes a tomar en cuenta, como fugas de cualquier tanque (Agua y disoluciones) y fallas en los equipos. El distanciamiento puede prevenir y reducir riesgos de eventos no deseados.
- Eficiencia operativa: una distribución previamente planificada, facilita y asegura la realización de operaciones diarias, mantenimiento e inspecciones periódicas a la planta.

- Normatividad: el seguir las normas aplicables acorde al centro de trabajo y las actividades que se desarrollan dentro de este garantiza el cumplimiento con los estándares y las regulaciones establecidas por los cuerpos autoritarios correspondientes, esto es crucial no solo para abstenerse de alguna sanción por parte del cuerpo regulador, sino también para demostrar el interés y compromiso que se tiene por parte del centro de trabajo para la seguridad de los trabajadores y responsabilidad ambiental.
- Protección ambiental: el seguimiento a los lineamientos de las diferentes normas aplicables dentro del centro de trabajo ayuda, a prevenir la contaminación en cualquier caso emergente y minimizar el impacto ambiental en caso de cualquier incidente.

## Objetivo

Según la NRF-010-PEMEX-2001, menciona que en el objetivo está: *Establecer los criterios para definir la distribución de instalaciones y los espaciamientos mínimos que, por motivos de seguridad, deben existir entre sí y hacia otras unidades, equipos o instalaciones de la Industria Petrolera y Petroquímica, en donde existan riesgos de explosión, incendio, fuga o derrame de materiales inflamables o explosivos, con el propósito de mitigar las pérdidas por accidente.* (Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios, 20 de febrero de 2001).

## Procedimiento

- Tanques de almacenamiento

La presente norma especifica distanciamientos mínimos para tanques atmosféricos, tanques con líquidos inflamables o productos combustibles, tanques esféricos presurizados, tanques horizontales presurizados y tanques refrigerados.

Establece una relación en el distanciamiento para cada tipo de tanque, siendo 1, 2, 3, 4 y 5 los anteriormente mencionados en el orden respectivo:

	1	2	3	4	5
1	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	Nota	Nota	1 D ó 30 m
2	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	$\frac{D_1 + D_2}{4}$	Nota	Nota	1 D ó 30 m
3	Nota	Nota	1 D ó 15 m	1 D ó 15 m	1 D ó 30 m
4	Nota	Nota	1 D ó 15 m	$\frac{D_1 + D_2}{2}$	1 D ó 30 m
5	1 D ó 30 m	1 D ó 30 m	1 D ó 30 m	1 D ó 30 m	1 D ó 30 m

Tabla 3.6.1. Relación en el distanciamiento entre tanques de almacenamiento (Fuente NRF-010-PEMEX-2001).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	
A	CONSULTAR DISTANCIAS EN TABLA 6.1.1.				76	90	105	90	76	76	110	76	60	60	(sr)	76	76	76	76	76	76	45	
B					30	30	45	45	30	30	75	30	30	30	(sr)	53	45	45	45	45	45	76	30
C					105	105	105	120	105	105	110	105	105	105	(sr)	105	105	105	105	105	105	105	60
D					105	105	105	120	105	105	110	105	105	105	(sr)	105	105	105	105	105	105	105	60
E	76	30	105	105	30	45	60	90	60	60	60	60	10	10	(sr)	60	30	30	30	30	30	30	
F	90	30	105	105	45	45	60	90	60	60	60	60	15	15	(sr)	76	60	30	30	30	60	45	
G	105	45	105	105	60	60	60	90	90	90	90	90	30	30	(sr)	90	90	60	120	120	120	60	
H	90	45	120	120	90	90	90	(sr)	90	90	110	90	90	90	30	90	90	90	90	90	90	60	
I	76	30	105	105	60	60	90	90	(sr)	15	50	50	60	60	(sr)	60	60	60	60	60	60	30	
J	76	30	105	105	60	60	90	90	15	(sr)	50	50	60	60	(sr)	60	60	60	60	60	60	30	
K	110	75	110	110	60	60	90	110	50	50	----	50	75	75	(sr)	110	110	75	110	110	110	110	
L	76	30	105	105	60	60	90	90	50	50	50	(sr)	60	60	(sr)	60	60	60	60	60	60	30	
M	60	30	105	105	10	15	30	90	60	60	75	60	10	10	(sr)	60	30	30	30	30	30	60	
N	60	30	105	105	10	15	30	90	60	60	75	60	10	10	10	60	30	30	30	30	30	60	
O	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	30	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	10	(sr)	30	15	15	30	15	30	(sr)	
P	76	53	105	105	60	76	90	90	60	60	110	60	60	60	30	(sr)	15	15	15	15	15	60	
Q	76	45	105	105	30	60	90	90	60	60	110	60	30	30	15	15	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	(sr)	30	
R	76	45	105	105	30	30	60	90	60	60	75	60	30	30	15	15	(sr)	(sr)	15	15	15	15	
S	76	45	105	105	30	30	120	90	60	60	110	60	30	30	30	15	(sr)	15	(sr)	(sr)	(sr)	45	
T	76	45	105	105	30	30	120	90	60	60	110	60	30	30	15	15	(sr)	15	(sr)	(sr)	(sr)	45	
U	76	76	105	105	30	60	120	90	60	60	110	60	30	30	30	15	(sr)	15	(sr)	(sr)	(sr)	45	
V	45	30	60	60	30	45	60	60	30	30	110	30	60	60	(sr)	60	30	15	45	45	45	(sr)	

Tabla 3.6.2. Espaciamiento mínimo entre instalaciones [m] (Fuente NRF-010-PEMEX-2001).

- |   |  |
|---|--|
| A. Tanques atmosféricos.                                      | L. Llenaderas y descargaderos de carrotanques de destilados.     |
| B. Tanques con líquidos inflamables o productos combustibles. | M. Casa de bombas de productos inflamables.                      |
| C. Tanques esféricos y horizontales presurizados.             | N. Edificios de compresores.                                     |
| D. Tanques refrigerados.                                      | O. Racks de tuberías de productos inflamables.                   |
| E. Plantas de proceso de riesgo moderado.                     | P. Cobertizo de bombas contra incendios.                         |
| F. Plantas de proceso de riesgo intermedio.                   | Q. Cuartos de control.   |
| G. Plantas de proceso de riesgo alto.                         | R. Subestaciones eléctricas.                                     |
| H. Quemadores de campo, piso o fosa.                          | S. Talleres y laboratorios.                                      |
| I. Llenaderas de autotanques de destilados.                   | T. Bodegas, almacenes y oficinas de servicios.                   |
| J. Descargaderos de autotanques de destilados.                | U. Oficinas administrativas y estacionamientos.                  |
| K. Llenaderas y descargaderos de gas L.P.                     | V. Estacionamientos de autotanques dentro del centro de trabajo. |

(sr): sin requerimiento específico de espaciamento (Fuente NRF-010-PEMEX-2001).

A continuación, se muestra el espaciamiento entre equipos dentro de plantas:

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
A	10	10	15	15	15	15	15	30	30	10	10	10	15	15	15	30
B	10	1.5	1.5	3	3	3	3	30	15	5	3	3	15	15	15	30
C	15	1.5	1.5	5	5	5	5	30	15	5	5	5	15	15	15	30
D	15	3	5	7.5	7.5	7.5	15	30	15	7.5	7.5	7.5	30	30	15	30
E	15	3	5	7.5	5	5	7.5	30	15	5	5	5	15	15	15	30
F	15	3	5	7.5	5	5	7.5	30	15	5	3	3	15	15	15	30
G	15	3	5	15	7.5	7.5	5	30	15	5	3	3	15	15	15	30
H	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	60
I	30	15	15	15	15	15	15	30	7.5	15	15	15	15	15	15	30
J	10	5	5	7.5	5	5	5	30	15	sr	5	sr	15	15	15	30
K	10	3	5	7.5	5	3	3	30	15	5	1.5	3	15	15	15	30
L	10	3	5	7.5	5	3	3	30	15	sr	3	sr	15	15	15	10
M	15	15	15	30	15	15	15	30	15	15	15	15	sr	sr	sr	sr
N	15	15	15	30	15	15	15	30	15	15	15	15	sr	sr	sr	sr
O	15	15	15	15	15	15	15	30	15	15	15	15	sr	sr	sr	sr
P	30	30	30	30	30	30	30	60	30	30	30	10	sr	sr	sr	sr

Tabla 3.6.3. Espaciamiento mínimo entre equipos [m] (Fuente NRF-010-PEMEX-2001).

A. Compresores.	I. Calentadores de fuego directo.
B. Bombas de producto de riesgo intermedio.	J. Soloaires.
C. Bombas de producto de riesgo alto.	K. Cambiadores de calor.
D. Reactores de riesgo alto.	L. Corredores de tuberías.
E. Reactores de riesgo intermedio.	M. Controles de emergencia.
F. Reactores de riesgo moderado.	N. Válvulas de bloqueo de unidades.
G. Torres de destilación y acumuladores.	O. Cuartos de análisis.
H. Tanques de proceso con producto inflamable, tóxico o corrosivo.	P. Cuartos de control.

(sr): sin requerimiento específico de espaciamiento (Fuente NRF-010-PEMEX-2001).

Tomando en cuenta la información proporcionada dentro de la planta; tratándose de un tanque de almacenamiento con capacidad volumétrica de 1100L y diámetro de 1.3m, a simple vista podemos deducir que no cumple con el espaciamiento mínimo dentro de la planta (Recordemos que a pesar de no tratarse de un centro de trabajo petrolero o con riesgos de explosión e incendios, solo se toma como referencia el espaciamiento mínimo)



Figura 3. Distanciamiento entre tanque de almacenamiento 1 y 2.

Con ayuda de un flexómetro se midió la distancia o espaciamiento entre el borde más cercano del tanque de almacenamiento 1 al borde del tanque de almacenamiento 2, con una longitud de 1.24m entre sí. Podemos concluir que según la NRF-010-PEEX-2001, no se cumple con el distanciamiento mínimo entre tanques de almacenamiento.

### 3.6.3 NOM-127-SSA1-2021 “Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de la calidad de agua”.

#### Resumen

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, menciona que: *El abastecimiento de agua para uso y consumo humano con calidad adecuada es fundamental para prevenir y evitar la transmisión de enfermedades relacionadas con el agua, para lo cual se requiere establecer y mantener actualizados los límites permisibles en cuanto a sus características físicas, químicas, microbiológicas, y radiactivas, con el fin de asegurar y preservar la calidad del agua que se entrega al consumidor por los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.*

*Por tales razones la Secretaría de Salud, propone la emisión de la presente Norma Oficial Mexicana, con la finalidad de establecer un eficaz control sanitario del agua que se somete a tratamientos de potabilización a efecto de hacerla apta para uso y consumo humano, acorde a las necesidades actuales (Secretaría de salud, 17 de diciembre de 2021).*

#### Objetivo

Según la Norma Oficial Mexicana NOM-127-SSA1-2021, el objetivo y campo de aplicación es:

- Esta norma establece los límites permisibles de calidad que debe cumplir el agua para uso y consumo humano.
- Esta norma es de observancia obligatoria en el territorio nacional para los organismos responsables de los sistemas de abastecimiento de agua públicos y privados.
- Esta norma no es aplicable para aguas residuales tratadas.

#### Procedimiento

La NOM-127-SSA1-2021 establece los rangos permisibles para especificaciones físicas, químicas, graduales para fluoruro, metales, metaloides, microbiológicas, fitotoxinas, radiactividad, productos residuales de desinfección, subproductos de desinfección, compuestos orgánicos e inorgánicos halogenados.

Este apartado se centrará en analizar y decir si los parámetros medibles dentro del laboratorio se encuentran dentro de los rangos permisibles según la NOM-127-SSA1-2021.

<b>Parámetros</b>	<b>Rango o límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
<i>Dureza</i>	500	mg/L
<i>TDS</i>	1000	mg /L
<i>Cloro</i>	0.2 – 1.5	mg/L
<i>pH</i>	6.5 – 8.5	Unidades de pH

Tabla 3.6.4. Especificaciones sanitarias fisicoquímicas.

Dado que la NOM-127-SSA1-2021 no menciona el rango o límites permisibles de la conductividad eléctrica, nos basamos en el estudio del Doctor Claude E. Boyd, donde destaca la importancia de la medición de la conductividad eléctrica en diferentes sistemas acuícolas.

La conductividad usual de algunos tipos diferentes de aguas sigue: agua destilada, < 2 mmhos/cm; agua de lluvia, < 50 mmhos/cm; aguas interiores en regiones húmedas, < 500 mmhos/cm; aguas interiores en regiones áridas, 500 a > 5.000 mmhos/cm; agua de mar, »50.000 mmhos/cm; estuarios, 1.500 a > 50.000 mmhos/cm. Las aguas potables de mejor calidad tienen una conductividad de 50-500 mmhos/cm, pero algunas pueden tener valores de hasta 1.000-1.500 mmhos/cm. Las aguas dulces no tendrán valores de conductancia específicos por encima de los 1.500 mmhos/cm. Todas las aguas interiores, obviamente, no son aguas dulces. (Boyd, 2017.)

Podemos establecer un rango de conductividad eléctrica para agua purificada con base en el estudio del Doctor Boyd:

<b>Parámetros</b>	<b>Límite permisible</b>	<b>Unidades</b>
<i>Conductividad eléctrica</i>	50 - 500	µs/cm

Tabla 3.6.5. Especificaciones sanitarias de conductividad eléctrica.

A continuación, se muestra registro de los parámetros fisicoquímicos medibles de la planta tratadora de agua, únicamente de los lunes durante el periodo correspondiente del 26/06/2023 al 13/10/2023:

Dureza	
Válvula	10
Fecha	
26/06/2023	0
03/07/2023	0
11/07/2023	0
07/08/2023	0
14/08/2023	0
21/08/2023	0
28/08/2023	0
04/09/2023	0
11/09/2023	0
18/09/2023	0
25/09/2023	0
02/10/2023	0
09/10/2023	0
16/10/2023	0

Tabla 3.6.6. Valores registrados para la prueba de sólidos disueltos totales.

Sólidos disueltos totales [ppm]						
Válvula	2	5	7	10	21	31
Fecha						
26/06/2023	300	332	338	374	21.8	3.9
03/07/2023	349	342	347	355	26.4	12.2
11/07/2023	343	346	344	361	81.5	3.14
07/08/2023	234	187	195	350	67.9	5.6
14/08/2023	158	153	158	155	79.1	3.45
21/08/2023	139	142	148	160	57.1	2.83
28/08/2023	143	131	138	139	54.7	2.5
04/09/2023	114	117	126	128	50	2.63
11/09/2023	119	113	117	145	8.24	2.19
18/09/2023	143	132	138	151	64.1	2.63
25/09/2023	117	112	96	111	72.7	2.56
02/10/2023	135	127	130	138	78.9	2.31
09/10/2023	147	156	168	179	71.8	2.21
16/10/2023	126	136	145	150	112	2.75

Tabla 3.6.7. Valores registrados para la prueba de sólidos disueltos totales.

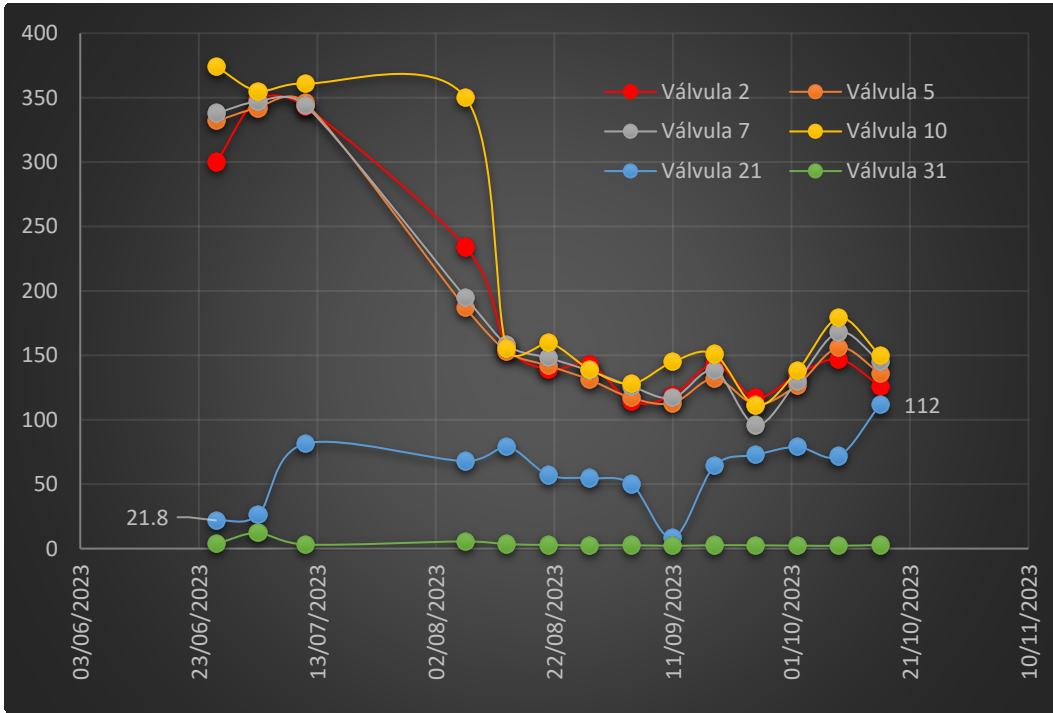


Gráfico 3.1. Valores registrados para la prueba de sólidos disueltos totales (TDS).

Siguiendo el rango establecido y permitido por la NOM-127-SSA1-2021 para el parámetro de sólidos disueltos totales (TDS) en agua purificada, el cual es de 1000 ppm y según los valores obtenidos en el lapso escogido, nos encontramos dentro del rango y muy por debajo del límite permisible.

Conductividad eléctrica [ $\mu\text{s}/\text{cm}$ ]						
Válvulas	2	5	7	10	21	31
Fecha						
26/06/2023	695	696	696	75	29.6	6.68
03/07/2023	699	683	693	728	533	24
11/07/2023	702	653	689	742	165.8	6.81
07/08/2023	503	377	336	361	139	9.88
14/08/2023	258	290	311	155	161	6.08
21/08/2023	276	219	300	319	114	5.63
28/08/2023	274	262	271	277	115.5	8.8
04/09/2023	243	207	210	251	105	5.68
11/09/2023	239	225	234	290	16.3	4.48
18/09/2023	258	262	280	310	128	5.35
25/09/2023	231	223	193	235	145	4.71
02/10/2023	272	253	259	276	157	4.6
09/10/2023	293	312	336	179	144	9.41
16/10/2023	255	271	284	150	223	5.4

Tabla 3.6.8. Valores registrados para la prueba de conductividad eléctrica.

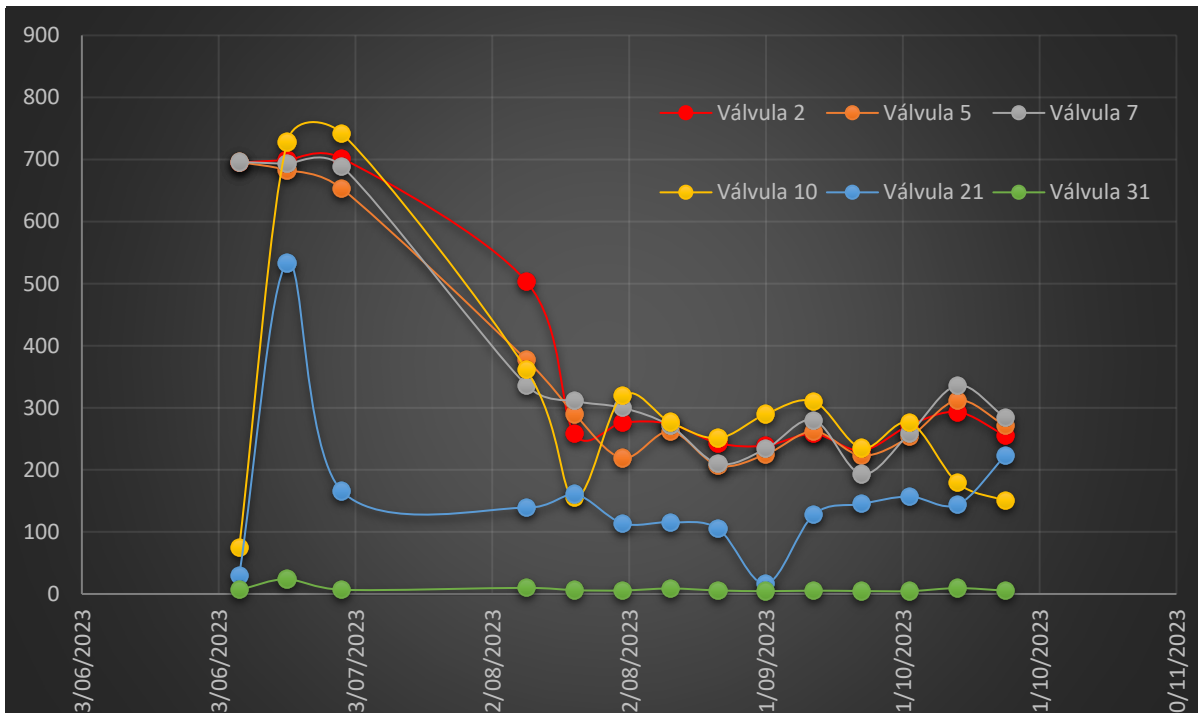


Gráfico 3.2. Valores registrados para la prueba de conductividad eléctrica.

Siguiendo el rango establecido y permitido por del Doctor Claude E. Boyd, para el parámetro de la conductividad eléctrica en agua purificada, el cual es de 1000 ppm y según los valores obtenidos en el lapso escogido, nos encontramos dentro del rango y muy por debajo del límite permisible.

<b>Cloro[ppm]</b>		
<b>Válvulas</b>	5	7
<b>Fecha</b>		
<b>26/06/2023</b>	0	0
<b>03/07/2023</b>	0.3	0.3
<b>11/07/2023</b>	0.3	0.3
<b>07/08/2023</b>	0	0
<b>14/08/2023</b>	0	0
<b>21/08/2023</b>	0	0
<b>28/08/2023</b>	0	0
<b>04/09/2023</b>	0	0
<b>11/09/2023</b>	0	0
<b>18/09/2023</b>	0	0
<b>25/09/2023</b>	0	0
<b>02/10/2023</b>	0	0
<b>09/10/2023</b>	0.3	0
<b>16/10/2023</b>	0.3	0.3

Tabla 3.6.9. Valores registrados para la prueba de cloro residual.

Siguiendo el rango establecido y permitido por la NOM-127-SSA1-2021 para el parámetro de cloro residual en agua purificada, el cual es de 0 – 1.5 ppm y según los valores obtenidos en el lapso escogido, nos encontramos dentro del rango y muy por debajo del límite permisible.

pH						
Válvulas	2	5	7	10	21	31
Fecha						
<b>26/06/2023</b>	7	7	7	6	5	5
<b>03/07/2023</b>	8	8	7	8	7	4
<b>11/07/2023</b>	6.5	7.2	7.4	7.2	7	6.8
<b>07/08/2023</b>	7.2	7.8	7.8	7.2	7.2	6.8
<b>14/08/2023</b>	7.6	7.7	7.4	7.8	7.2	6.8
<b>21/08/2023</b>	7.8	7.8	7.8	7.6	7.2	6.8
<b>28/08/2023</b>	7.6	7.6	7.2	7.8	7.2	6.8
<b>04/09/2023</b>	7.6	7.6	7.8	7.8	7	6.8
<b>11/09/2023</b>	7.6	7.6	7.8	7.6	6.8	6.8
<b>18/09/2023</b>	7.6	7.6	7.2	7.6	7	6.8
<b>25/09/2023</b>	7.4	7.6	7.6	7.2	7	6.8
<b>02/10/2023</b>	7.8	7.8	7.8	7.6	7.2	6.8
<b>09/10/2023</b>	7.6	7.6	7.6	7.8	7.2	6.8
<b>16/10/2023</b>	8	7.5	7.5	7.5	7.5	6.5

Tabla 3.7. Valores registrados para la prueba de pH.

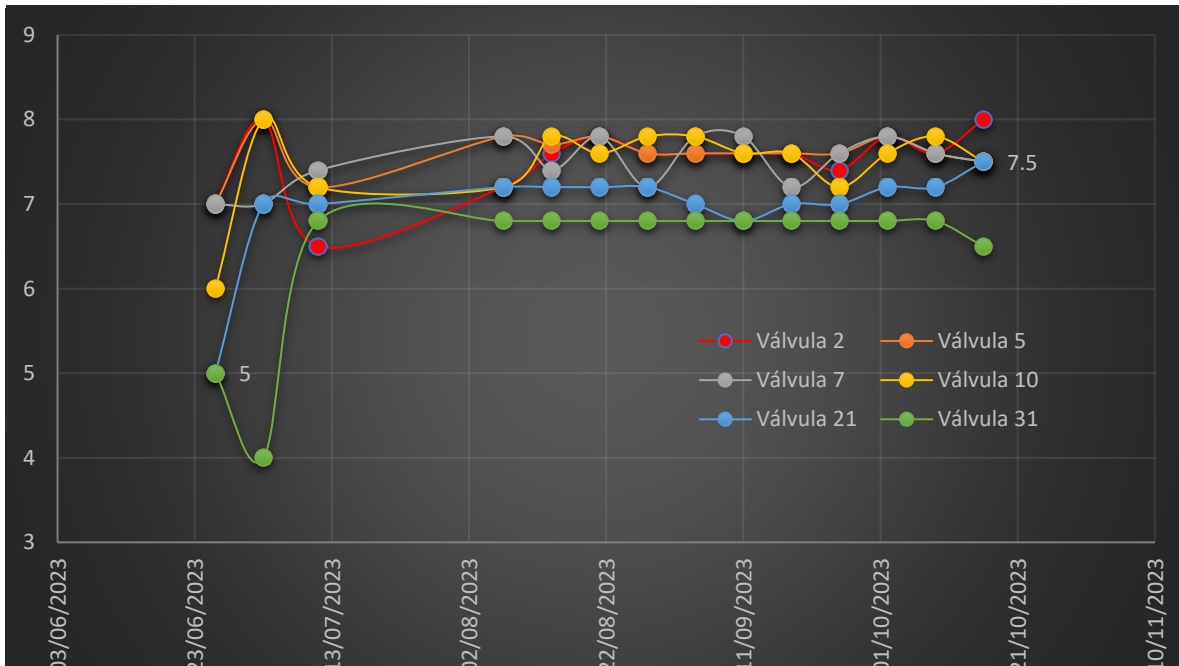


Gráfico 3.3. Valores registrados para la prueba de pH.

Siguiendo el rango establecido y permitido por la NOM-127-SSA1-2021 para el parámetro de pH en agua purificada, el cual es de 6.5 – 8.5, y según los valores obtenidos en el lapso escogido, nos encontramos dentro del rango permisible, salvo 1 ocasión, donde se obtuvo un pH de 5.

## Conclusión

Las plantas purificadoras de agua hoy constituyen un componente esencial en la infraestructura para garantizar el suministro de agua de calidad, evidenciando que dicha planta no solo cumplen con los estándares regulatorios exigidos, sino también promueve la sostenibilidad ambiental al reducir la dependencia de fuentes de agua no renovables.

El trabajo proporciona una visión integral de los aspectos técnicos, ambientales y de seguridad relacionados con una planta tratadora de agua purificada y desionizada, además de brindar un espacio propicio para el aprovechamiento y desarrollo académico. Con la información recabada, así como la implementación de programas académicos y capacitación especializada se busca promover el conocimiento técnico del equipo y fortalecer la capacidad de operar y mantener funcionando eficientemente una planta tratadora de agua.

Además de haber identificado áreas clave para mejoras futuras, como la exploración de alternativas emergentes más sostenibles, no solo fortalecerá la capacidad de la planta para adaptarse a las demandas cambiantes, sino que también reforzará el compromiso con la innovación y la excelencia en la gestión del agua acorde a la normatividad de la región.

Dicho manual en conjunto con la planta tratadora de agua purificada y desionizada hoy se posicionan hoy como elemento vital no solo para la producción de agua de calidad, sino también como espacio de aprendizaje y mejora continuos, aprovechando el conocimiento académico, la planta se asegura de cumplir con su misión de proporcionar un recurso vital de manera eficiente y sostenible, contribuyendo al bienestar comunitario y al cuidado del medio ambiente.

## Bibliografía

- Gilly, M. (2013). Microfiltración, ultrafiltración y ósmosis inversa. Universidad Nacional Autónoma de México. Facultad de química. Procesos de alimentos.
- CONAGUA. (2019). Agua en el mundo. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conagua/acciones-y-programas/agua-en-el-mundo>
- Valencia, J., Mendoza, F., Vargas, L., et al. (2006). El agua en México. pp. 7-8 CONAGUA.
- McCabe, W., Smith, J. & Harriot, P. (2007). Operaciones unitarias en ingeniería química. McGraw Hill. 7° Ed. pp. 1049, 1054, 1106
- Limón, M. (2001). Biodegradación de polietileno de baja densidad por hongos filamentosos. UAM Iztapalapa, México D.F.
- Sánchez, C. (2007). Tratamiento en reactor anaerobio de desechos hortícolas. IPN México D.F.
- Pérez, L. (2007). Curso breve sobre Operaciones Unitarias. Universidad Autónoma Metropolitana. México D.F.
- Drinan, J. & Spellman, F. (2012). Wastewater sources and types. Water and Wastewater Treatment, pp. 162–167.
- NRF-010-PEMEX-2001. “ESPACIAMIENTOS MÍNIMOS Y CRITERIOS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE INSTALACIONES INDUSTRIALES EN CENTROS DE TRABAJO DE PETRÓLEOS MEXICANOS Y ORGANISMOS SUBSIDIARIOS”. Comité de normalización de petróleos mexicanos y organismos subsidiarios.
- NOM-127-SSA1-1994. “SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LÍMITES PERMISIBLES DE LA CALIDAD DEL AGUA”. Secretaría de salud.
- Boyhd, E. (2017). Conductividad eléctrica del agua, parte 1. Auburn University, School of fisheries, aquaculture and aquatic sciences. Extraído de: <https://www.globalseafood.org/advocate/conductividad-electrica-del-agua-parte-1/>
- Garcés, D. & F. Morante. (2012). Caracterización mineralógica del depósito de zeolitas naturales en el río Guaraguau (Isidro Ayora, provincia Guayas) y su aplicación en la remoción de amonios. Repositorio de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.
- Fondo de cultura económica. (1988). La ciencia desde México. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Extraído de: [http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/55/htm/sec\\_3.html](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/55/htm/sec_3.html)
- Humbe (2021). Aurora. Aurora. Sony Música Entertainment México, S.A. de C.V.

# Anexos

## Lista de Figuras

# Diagrama de tubería e instrumentación

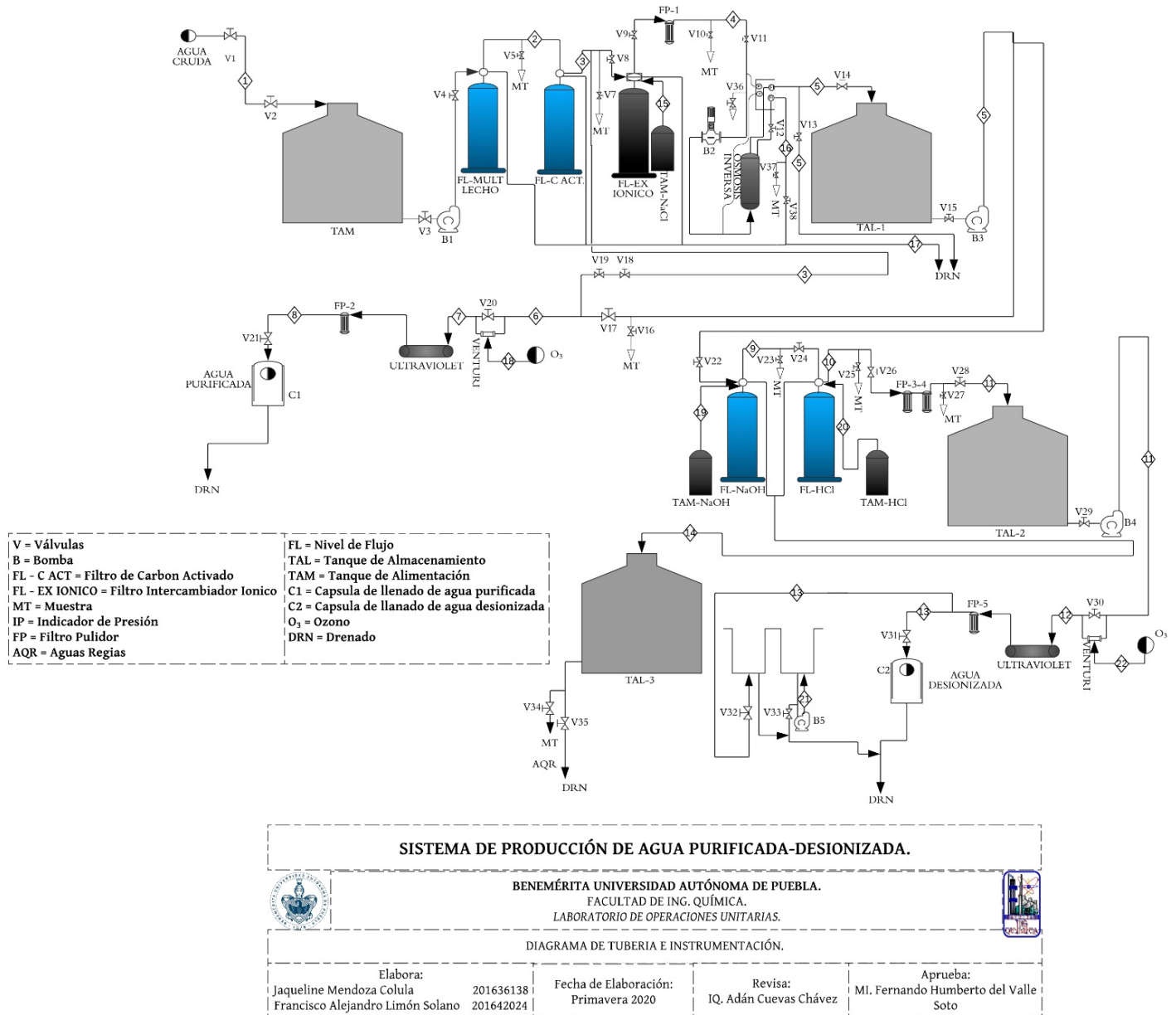


Figura 1.1. Diagrama de tubería e instrumentación de la planta tratadora de agua purificada-desionizada

## Válvulas, equipos y accesorios para purificación de agua

*Nota:* los equipos y accesorios que se mostrarán a continuación serán únicamente los de mayor relevancia y/o los que son frecuentemente usados, ya sea para mantenimientos o producción; la disposición de válvulas, equipos y/o accesorios se mostrarán en orden cronológico acorde al DTI de la planta.

A continuación, se presenta una fotografía con vista parcial interna correspondiente a la planta tratadora de agua purificada-desionizada.



Figura 2.1. Vista parcial interna de la planta tratadora de agua.

Válvula 2, a la entrada del primer tanque de almacenamiento o tanque de recepción de agua cruda:

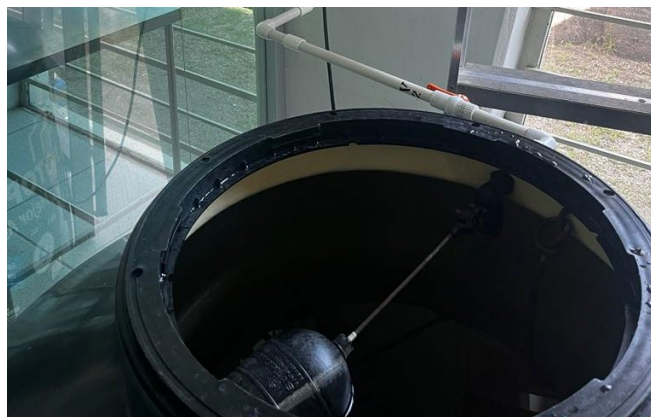


Figura 2.2. V2.

Válvula 4, en la parte posterior y a la entrada del filtro multi lecho o filtro de arena:



Figura 2.3. V4 y filtro multi lecho o de arena.

Filtro de carbón activado:



Figura 2.4. Filtro de carbón activado.

Válvula 8, en la parte posterior y a la entrada del filtro de intercambio iónico:



Figura 2.5. V8 y filtro de intercambio iónico.

Filtro pulidor de 5 micras; el efluente entra al dispositivo y recorre las paredes de este, permitiendo filtrarse a través de cartucho:



Figura 2.6. Filtro pulidor 1.

Válvula 11, previa a la entrada del filtro de ósmosis inversa:



Figura 2.7. V11.

Filtro de ósmosis inversa:



Figura 2.8. Filtro de ósmosis inversa.

Válvula 14, a la entrada del tanque de almacenamiento 2.



Figura 2.9. V14.



Figura 2.10. Tanque de almacenamiento. 2

Válvula 15 y bomba hidroneumática 3 a la salida del tanque de almacenamiento 2.



Figura 2.11. V15.

Válvula 17, 19, 20 y generador de ozono:

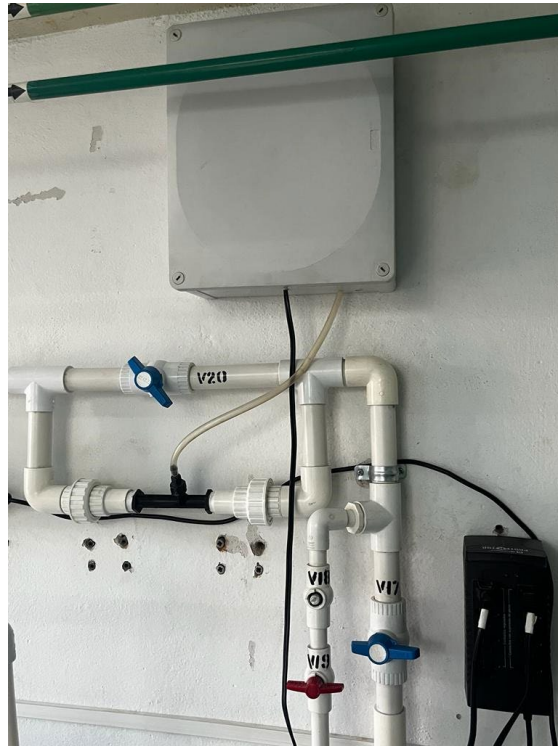


Figura 2.12. V17, V18, V20 y generador de ozono.

Filtro de luz UV 1:



Figura 2.13. Filtro de luz UV.

Filtro pulidor de 1 micra:



Figura 2.14. Filtro pulidor 2.

Bomba hidroneumática:

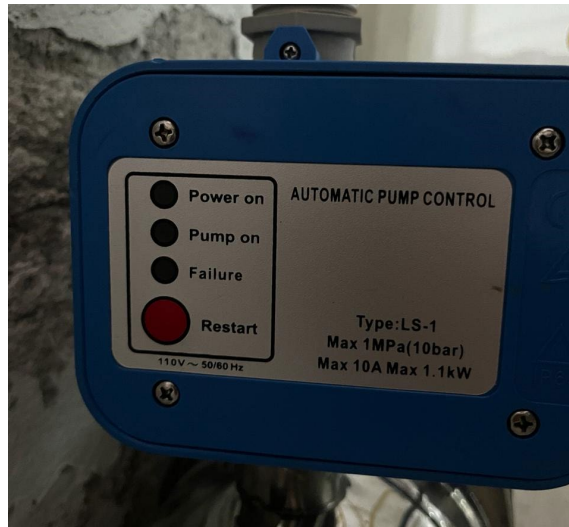


Figura 2.15. Panel de bomba hidroneumática.

Válvula 21 o válvula despachadora de agua purificada.



Figura 2.16. V21 o llave despachadora de agua purificada.

## Válvulas, equipos y accesorios para desionización de agua

Una vez que el agua ha recibido un pretratamiento y se encuentra almacenada en el tanque 2, el proceso para obtener agua desionizada empieza con la apertura de la válvula 22.



Figura 2.17. V22.

Filtro de hidróxido de sodio (NaOH):



Figura 2.18. Filtro de NaOH.

Filtro de ácido clorhídrico:



Figura 2.19. Filtro de HCl.

Válvula 26:



Figura 2.20. V26.

Filtros pulidores de 5 micras, 1 micra y válvula 28:



Figura 2.21. Filtro pulidor #3 y #4.

Tanque de almacenamiento 3:

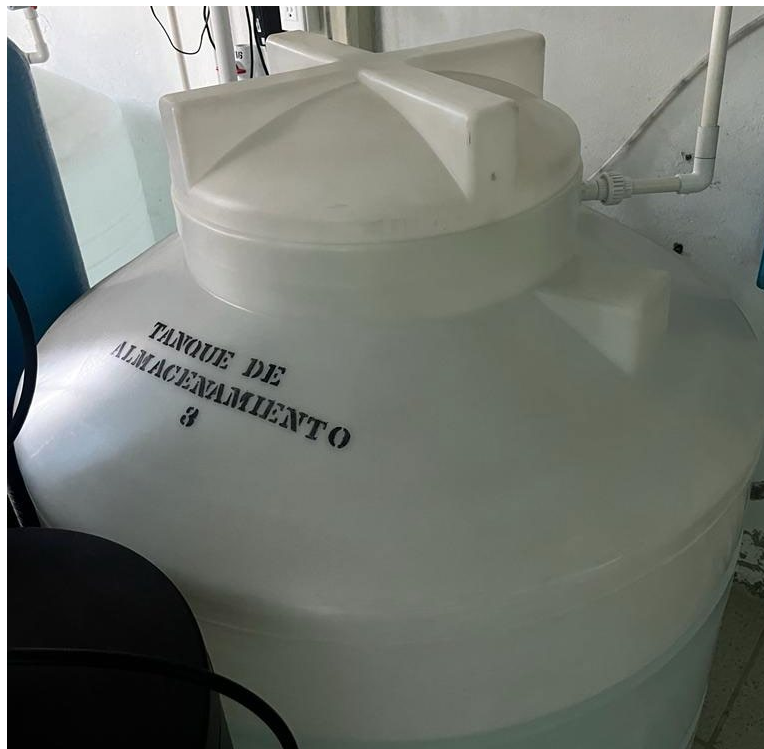


Figura 2.22. Tanque de almacenamiento 3.

Válvula 29:



Figura 2.23. V29.

Válvula 30:



Figura 2.24. V30.

Generador de ozono 2:



Figura 2.25. Generador de ozono #2.

Filtro de luz UV 2:



Figura 2.26. Filtro de luz UV #2.

Filtro pulidor de 1 micra #2:



Figura 2.27. Filtro pulidor de 1 micra #2.

Válvula 31 o llave despachadora de agua desionizada:



Figura 2.28. V31.

Válvula 32 y área de lavado de garrafones:



Figura 2.29. V32.



Figura 2.30. Regulador 1.

