

UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA

REHABILITACIÓN Y PUESTA EN MARCHA DE LA
PLANTA POTABILIZADORA DE AGUA DE LA FACULTAD
DE INGENIERÍA QUÍMICA

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO QUÍMICO

PRESENTA

ULISES POSADA SAAVEDRA

ASESORES

MAESTRO EN CIENCIAS GABRIEL MARTINEZ HERRERA

INGENIERO QUÍMICO MARCO ANTONIO VILCHIS GARCÍA

DEDICATORIAS

A MIS PADRES

JESUS POSADA LUGO
MA. ROSARIO SAAVEDRA JUARÉZ

A MIS HERMANOS

HECTOR URIEL POSADA SAAVEDRA
JESUS EDEN POSADA SAAVEDRA

AGRADECIMIENTOS

**A LA UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS DE HIDALGO
A LA FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA**

A MI ASESOR

M.C. GABRIEL MARTÍNEZ HERRERA

POR EL APOYO Y PACIENCIA BRINDADA A TRAVES DE LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

A MI CO-ASESOR

I.Q. MARCO ANTONIO VILCHIS GARCÍA

PACIENCIA Y APOYO EN EL DESARROLLO TÉCNICO Y DE REDACCIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

A MIS SINODALES

M.C. AIDA BEJAR UBALDO

M.D.H. BETZAIDA LOPÉZ GUTIÉRREZ

POR SUS COMENTARIOS Y APOYO EN LA REVISIÓN DEL PRESENTE TRABAJO.

A MIS PROFESORES

POR SUS ENSEÑANZAS, CONSEJOS Y LLAMADAS DE ATENCIÓN QUE ME PROPORCIONARON DURANTE MI FORMACIÓN.

GRACIAS

ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS

TABLAS

Tabla 1. Límites Permisibles de Características Microbiológicas.....	5
Tabla 2. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.....	5
Tabla 3. Límites permisibles de características químicas.....	6
Tabla 4. Funcionamiento del tanque hidroneumático.	14
Tabla 5. Descripción del Estados Equipos.	35
Tabla 6. Resultado de Pruebas Organolépticas.....	39
Tabla 7. Resultado de Pruebas Físico-Químicas.....	39
Tabla 8. Resultado de Pruebas Físico-Químicas (Continuación).....	39
Tabla 9. Resultado de Pruebas Físico-Químicas (Continuación).....	40
Tabla 10. Presencia de Microorganismos.....	40
Tabla 11. Presencia de Coliformes Fecales.....	40
Tabla 12. Presencia de Termotolerables (E. Coli).....	40
Tabla 13. Cotización de Materiales Filtrantes.....	41
Tabla 14. Cotización de Instalación y Refacciones.	41
Tabla 15. Cotización de Equipos Auxiliares.	42
Tabla 16. Cotización de Nva. Planta.....	42
Tabla 17. Cotización de una planta de 300 Garrafones por día.....	43
Tabla 18. Comparación entre Proyectos.	44

FIGURAS

Figura 1. Diagrama de Bloques del Proceso.	9
Figura 2. (1)Tanque Hidroneumático, (2) Filtro de Lecho Profundo y (3) Filtro de Carbón Activado.	11
Figura 3. (4) Suavizador, (5) Microfiltros, (6) Ósmosis Inversa y (7) Lámpara UV.....	11
Figura 4. (7) Segundo Modulo UV.	12
Figura 5. Entrada al Proceso.	13
Figura 6. Diagrama del Filtro de Lecho Profundo.....	15
Figura 7. Diagrama del Filtro de Carbón Activado.....	16
Figura 8. Diagrama del Intercambiador Iónico.	17
Figura 9. Diagrama de los Microfiltros.....	18
Figura 10. Membrana.....	19
Figura 11. Porta Membrana.....	19
Figura 12. Diagrama de una Lámpara UV.....	20
Figura 13. Condiciones Actuales del Proceso (I).	31
Figura 14. Condiciones Actuales del Proceso (II).	31
Figura 15. Daños al tendido Eléctrico.	32
Figura 16. Daños en el Edificio.....	32
Figura 17. Condiciones Actuales del Proceso (III).....	32
Figura 18. Uso Inadecuado de las Instalaciones.....	33
Figura 19. Falta de Mantenimiento.....	33

Figura 20. Uso Inadecuado de las Instalaciones (II).....	33
Figura 21. Daños a causa de la Humedad.....	33
Figura 22. Uso Inadecuado de las Instalaciones (III).....	34
Figura 23. Carencia de Servicios y Equipo en el área de Análisis.	34
Figura 24. Daños a causa de la Humedad (II).....	34

CONTENIDO

DEDICATORIAS	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
ÍNDICE DE TABLAS Y FIGURAS	iv
RESUMEN	1
ABSTRACT	1
INTRODUCCIÓN	2
1.1 GENERALIDADES.....	2
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	3
1.3 OBJETIVOS.....	3
1.4 HIPÓTESIS.....	3
1.5 ALCANCE.....	3
MARCO TEÓRICO	4
2.1 Características del Agua Purificada.....	4
2.1.1 Requisitos del Agua Potable [(NOM-127-SSA-1994). Anexo 1].....	5
2.1.1.1 Límites Permisibles en la Calidad de Agua (A evaluar).....	5
2.1.1.1.1 Límites permisibles de características microbiológicas.....	5
2.1.1.1.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas.....	5
2.1.1.1.3 Límites permisibles de características químicas.....	6
2.2 El Agua Potable y su Importancia en la Sociedad.....	6
2.2.1 El Agua purificada para su consumo.....	6
2.2.2 Química del Agua Potable.....	7
2.2.3 Propiedades.....	8
ÁREA DE ESTUDIO	9
3.1 CONFIGURACIÓN ACTUAL.....	9
3.2 FUNCIONAMIENTO.....	10
3.2.1 CISTERNA (ALJIBE).....	13
3.2.2 BOMBA ALIMENTACIÓN – HIDRONEUMÁTICO.....	13
3.2.3 FILTRO MULTIMEDIA (LECHO PROFUNDO).....	15
3.2.4 FILTRO CARBÓN ACTIVADO.....	16
3.2.5 SUAVIZADOR (INTERCAMBIO IÓNICO).....	17
3.2.6 FILTROS PULIDORES (MICROFILTRACIÓN).....	18

3.2.7	ÓSMOSIS INVERSA.....	19
3.2.8	DESINFECCIÓN LUZ ULTRAVIOLETA.....	20
3.2.9	RECOMENDACIÓN PARA INCLUIR AL PROCESO.....	21
3.2.9.1	OZONIFICADOR.....	21
3.3	MATERIALES, EQUIPO Y REACTIVOS.....	22
3.3.1	INSPECCIÓN A LAS INSTALACIONES.....	22
3.3.2	INSPECCIÓN A LOS EQUIPOS.....	22
3.3.3	PRUEBAS AL AGUA.....	22
3.3.3.1	Pruebas Organolépticas.....	22
3.3.3.2	Pruebas Físico-Químicas.....	22
3.3.3.3	Pruebas Bacteriológicas.....	24
3.3.3.3.1	Presencia de Microorganismos.....	24
3.3.3.3.2	Presencia de Coliformes.....	24
3.3.3.3.3	Presencia de Coliformes Fecales (Termotolerables).....	24
3.4	METODOLOGÍA GENERAL.....	25
3.4.1	INSPECCIÓN A LAS INSTALACIONES.....	25
3.4.2	INSPECCIÓN A LOS EQUIPOS.....	25
3.4.3	PRUEBAS AL AGUA.....	26
3.4.3.1	Pruebas Organolépticas.....	26
3.4.3.2	Pruebas Físico-Químicas.....	27
3.4.3.3	Pruebas Bacteriológicas.....	29
RESULTADOS	31
4.1	ESTADO DE LA PLANTA.....	31
4.1.1	ZONA DE PROCESO.....	31
4.1.2	ZONA DE CARGA O ALMACENAMIENTO.....	33
4.1.3	ZONA DE ANÁLISIS (LABORATORIO).....	34
4.2	ESTADO DE LOS EQUIPOS.....	35
4.3	RESULTADOS DE LAS PRUEBAS AL AGUA DE PROCESO.....	39
4.3.1	PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS.....	39
4.3.2	PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS.....	39
4.3.3	PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS.....	40
4.4	COTIZACIONES.....	41
4.4.1	Rehabilitación de la Planta [Anexo 2].....	41

4.4.1.1 Cotización Materiales Filtrantes.....	41
4.4.1.2 Cotización de la Instalación, Mano de Obra, Refacciones y Conexiones.	41
4.4.1.3 Cotización de los Materiales y Equipos Auxiliares.....	42
4.4.2 Adquisición de una Nueva Planta de misma capacidad [Anexo 3].	42
4.4.3 Adquisición de una Nueva Planta de Diferente Capacidad.....	43
4.5 Comparación entre Proyectos.....	44
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	45
BIBLIOGRAFÍA.....	46
ANEXOS.....	47

RESUMEN

En el presente trabajo se determinó una solución factible para la rehabilitación de la Planta Purificadora de la Facultad de Ingeniería Química en la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La Planta no ha sido operada desde 1998, lo que presenta una problemática debido a que los equipos e instalaciones carecen de mantenimiento. Por lo cual se realizó una evaluación y diagnóstico de las condiciones de los equipos y el del área del proceso para su rehabilitación.

El aporte principal de este trabajo no solo es el planteamiento de un proyecto de rehabilitación de una planta con el fin de negocio, sino el planteamiento de propuestas con un impacto en el objetivo de una institución educativa, como lo es la Facultad de Ingeniería Química.

Palabras clave: Rehabilitación, purificadora, planta.

ABSTRACT

In this paper a feasible solution for the rehabilitation of the Purifier School of Chemical Engineering Plant in the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo was determined. The plant has not been operated since 1998, which presents a problem because the lack of equipment and facilities maintenance. Therefore an evaluation and diagnosis of the condition of the equipment and the process area for its rehabilitation was performed.

The main contribution of this work is not only the approach of a rehabilitation project with a silver to business, but making proposals with an impact on the objective of an educational institution, such as the School of Chemical Engineering

Key Words: Rehabilitation, Purifier, Plant

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 GENERALIDADES.

Los procesos de purificación de agua son muy variados, así como su configuración, producción y mantenimiento, pero el fin es el mismo, la purificación del agua para que las personas puedan ingerirla sin riesgos.

Las plantas purificadoras de agua son esenciales dentro de toda población, debido que a través de estos procesos, el agua adquiere las características y propiedades que debe tener para su ingesta. Recordando que el agua purificada debe ser óptima para el consumo humano de todos los tipos de agua que existen, garantizando que no existe peligro para la salud, debido a que pasa por procesos donde se eliminan sustancias o microorganismos que puedan provocar enfermedades a quien la consuman; de ahí la importancia de las plantas purificadoras.

PLANTA DE PURIFICACIÓN DE AGUA

La importancia que tienen las Plantas de Purificación de Agua radica en poder producir con agua apta para la ingesta humana, cumpliendo con todas las normas de calidad requeridas, considerando que de otra forma el agua es una fuente de innumerables enfermedades, además siempre tratando de ahorrar recursos y purificando la mayor cantidad de agua.

El rubro del agua embotellada en sus diferentes presentaciones (garrafón -bidón-, botella PET y bolsa) ofrece muchas alternativas para hacer negocio, tales como: Planta purificadora de agua, envasado y distribución del agua, o en el mejor de los casos la combinación de las tres. Las plantas purificadoras de agua deben contar con la tecnología necesaria en sus procesos de purificación que a continuación se enlistan:

- Filtros de gravas y arenas. Para eliminación de sólidos suspendidos y turbidez.
- Filtros de carbón. Activado para eliminación de olor, color, sabor, cloro y material orgánico.
- Ósmosis inversa. Eliminando sólidos totales disueltos.
- Filtros pulidores. Que filtran las partículas que se pudieran generar en los procesos anteriores.
- Esterilizador de luz ultravioleta. Elimina las bacterias existentes
- Equipo generador de Ozono. Desinfecta bacteriológicamente el producto y le da vida de anaquel.
- Ultrafiltración. Tecnología basada en el principio de osmosis inversa, pero con la ventaja de solo eliminar un 10% del contenido de sales y un 10% de desperdicio del agua.

Las plantas son provistas de acuerdo a la capacidad de agua a tratar, y de acuerdo a las características cualitativas del agua de alimentación de la zona correspondientemente.

1.2 JUSTIFICACIÓN.

Actualmente la Planta Purificadora de Agua de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, ubicada en edificio K de Ciudad Universitaria se encuentra fuera de operación, al proponer este proyecto para su rehabilitación y puesta en marcha, se busca satisfacer el consumo de la propia institución, y después como un negocio rentable, con base al incremento excesivo de precios de las diferentes presentaciones de agua purificada que existen en el mercado actualmente.

Considerando desde el enfoque en que el proceso de purificación de agua es un negocio rentable dado su fácil operación, baja inversión, pronta recuperación, mercado con gran potencial, altos márgenes de ganancia

1.3 OBJETIVOS.

- Realizar un diagnóstico de las condiciones operativas de las instalaciones y equipos de la Planta Purificadora de Agua de la UMSNH del edificio “K” de Ciudad Universitaria.
- Proponer una opción factible para la reactivación de la Planta Purificadora.
- Presupuestar la inversión necesaria para rehabilitación de la Planta Purificadora de Agua.

1.4 HIPÓTESIS.

A través de un proceso de análisis, investigación y práctica se determinará opciones factibles para la rehabilitación de la Planta Purificadora de la Facultad de Ingeniería Química, cumpliendo con los estándares impuesta en las NOM's.

1.5 ALCANCE.

La Planta Purificadora de Agua se encuentra instalada en el Edificio “K”, en Ciudad Universitaria, Morelia, Michoacán.

El área de influencia del proyecto tiene como objetivo inicial la realización de un diagnóstico del edificio donde se encuentra ubicada la planta, así como de los equipos y materiales dentro de la Planta Purificadora de Agua.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Características del Agua Purificada

Se denomina agua purificada, al agua que puede ser consumida sin restricción debido a que, gracias a un proceso de purificación, no representa un riesgo para la salud. El término se aplica al agua que cumple con las normas de calidad promulgadas por las autoridades locales e internacionales.

En zonas con intenso uso agrícola es cada vez más difícil encontrar pozos cuya agua se ajuste a las exigencias de las normas. Especialmente los valores de sulfatos y nitrocompuestos, además de las concentraciones de los compuestos fitosanitarios, superan a menudo el umbral de lo permitido. La razón suele ser el uso masivo de abonos minerales o la filtración de purinas. El nitrógeno aplicado de esta manera, que no es asimilado por las plantas es transformado por los microorganismos del suelo en nitrato y luego arrastrado por el agua de lluvia al nivel freático. También ponen en peligro el suministro de agua potable otros contaminantes medioambientales como el derrame de derivados del petróleo, lixiviado, pesticidas, entre otros.

Las causas de la no potabilidad del agua son:

- Bacterias, virus.
- Minerales.
- Productos tóxicos.
- Depósitos o partículas en suspensión.

Al proceso de conversión de agua común en agua potable se le denomina potabilización. Como se mencionó los procesos de potabilización son muy variados, por ejemplo una simple desinfección, para eliminar los patógenos, que se hace generalmente mediante la adición de cloro, además de la irradiación de rayos ultravioletas y la aplicación de ozono. Estos procedimientos se aplican a aguas que se originan en manantiales naturales o para las aguas subterráneas. Si la fuente del agua es superficial, agua de un río, arroyo o de un lago, ya sea natural o artificial, el tratamiento suele consistir en un stripping de compuestos volátiles, seguido de la precipitación de impurezas con floculantes, filtración y desinfección con cloro u ozono. El caso extremo se presenta cuando el agua en las fuentes disponibles tiene presencia de sales y/o metales pesados. Los procesos para eliminar este tipo de impurezas son generalmente complicados y costosos. En zonas con pocas precipitaciones o con disponibilidad de aguas marinas se

puede producir agua potable por desalinización; este se lleva a cabo a menudo por ósmosis inversa o destilación.

Para confirmar que el agua ya es potable, debe ser inodora (sin olor), incolora (sin color) e insípida (sin sabor), además de las pruebas que mandan los reglamentos tanto internacionales, y locales.

2.1.1 Requisitos del Agua Potable [(NOM-127-SSA-1994). Anexo 1].

Para el caso de estudio utilizaremos como referencia NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994, "SALUD AMBIENTAL, AGUA PARA USO Y CONSUMO HUMANO-LIMITES PERMISIBLES DE CALIDAD Y TRATAMIENTOS A QUE DEBE SOMETERSE EL AGUA PARA SU POTABILIZACION"

2.1.1.1 Límites Permisibles en la Calidad de Agua (A evaluar).

2.1.1.1.1 Límites permisibles de características microbiológicas.

Tabla 1. Límites Permisibles de Características Microbiológicas.

CARACTERISTICAS	LIMITE PERMISIBLE
Organismos coliformes totales	Ausencia o no detectables
<i>E. coli</i> o coliformes fecales u organismos termotolerables	Ausencia o no detectables

2.1.1.1.2 Límites permisibles de características físicas y organolépticas

Tabla 2. Límites permisibles de características físicas y organolépticas.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE
Color	20 unidades de color verdadero en escala platino-cobalto
Olor y Sabor	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultado de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico)
Turbiedad	5 unidades de turbiedad nefelométricas (UTN) o su equivalente en

2.1.1.1.3 Límites permisibles de características químicas

Tabla 3. Límites permisibles de características químicas.

CARACTERISTICA	LIMITE PERMISIBLE (ppm)
Cloruro (Cl ⁻)	250
Cloro Residual Libre	0.2 - 1.51
Dureza Total (CaCO ₃)	500
PH (Potencial de Hidrogeno) en unidades de PH	6.5 - 8.5
Solidos Disueltos Totales	1000
Sulfatos (como SO ₄ ⁻)	400
Conductividad (μs)	

2.2 El Agua Potable y su Importancia en la Sociedad

2.2.1 El Agua purificada para su consumo

El suministro de agua potable es un problema que ha ocupado al hombre desde la Antigüedad. Ya en Grecia clásica se construían acueductos y tuberías de presión para asegurar el suministro local. En algunas zonas se construían y construyen cisternas o aljibes que recogen las aguas pluviales. Estos depósitos suelen ser subterráneos para que el agua se mantenga fresca y sin luz, lo que favorecería el desarrollo de algas.

En Europa se calcula con un gasto medio por habitante de entre 150 y 200 L de agua potable al día aunque se consumen como bebida tan sólo entre 2 y 3 L. En muchos países el agua potable es un bien cada vez más escaso y se teme que puedan generarse conflictos bélicos por la posesión de sus fuentes.

De acuerdo con datos divulgados por el programa de monitoreo del abastecimiento de agua potable, patrocinado en conjunto por la OMS y UNICEF, el 87% de la población mundial, es decir, aproximadamente 5900 millones de personas (marzo 2010), dispone ya de fuentes de abastecimiento de agua potable, lo que significa que el mundo está en vías de alcanzar, e incluso de superar, la meta de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM) relativa al agua potable.

Los factores que afectan el costo del agua potable son varios, entre los principales se encuentran:

- I. Necesidad de tratar el agua para transformarla en agua potable, es decir factores relacionados con la calidad del agua en la fuente.
- II. Necesidad de transportar el agua desde la fuente hasta el punto de consumo.
- III. Necesidad de almacenar el agua en los períodos en que esta abunda para usarla en los periodos de escasez.

2.2.2 Química del Agua Potable

Los múltiples compuestos químicos disueltos en el agua pueden ser de origen natural o industrial y serán benéficos o dañinos de acuerdo a su composición y concentración. El hierro y el manganeso en pequeñas cantidades no solo causan color, también se oxidan para formar depósitos de hidróxido férrico y óxido de manganeso, dentro de las tuberías de agua.

Las aguas duras son aquellas que presentan una gran cantidad de sales disueltas y que pueden formar incrustaciones en tuberías de agua y calderas. La dureza del agua se expresa en miligramos equivalentes de carbonato de calcio por litro. Recordemos que el agua químicamente pura es la combinación de oxígeno e hidrógeno y puede obtenerse en laboratorios por el fenómeno de electrólisis y en la naturaleza durante las tormentas eléctricas.

Algunas sustancias presentes en el agua y que aún se pueda considerar potable siempre y cuando se mantenga dentro de los límites permisibles son las siguientes:

✚ Grupo 1: Producen solo alcalinidad

- ✓ Carbonato de potasio - K_2CO_3
- ✓ Bicarbonato de Potasio - $KHCO_3$
- ✓ Bicarbonato de Sodio - $NaHCO_3$
- ✓ Carbonato de Sodio - Na_2CO_3

✚ Grupo 2: Producen dureza carbonatada y alcalinidad

- ✓ Carbonato de Calcio - $CaCO_3$
- ✓ Carbonato de Magnesio - $MgCO_3$
- ✓ Bicarbonato de Calcio - $Ca(HCO_3)_2$
- ✓ Bicarbonato de Magnesio - $Mg(HCO_3)_2$

✚ Grupo 3: Producen salinidad y dureza no carbonatada

- ✓ Sulfato de Calcio - $CaSO_4$
- ✓ Cloruro de Calcio - $CaCl_2$
- ✓ Nitrato de Calcio - $Ca(NO_3)_2$
- ✓ Sulfato de Magnesio - $MgSO_4$
- ✓ Cloruro de Magnesio - $MgCl_2$
- ✓ Nitrato de Magnesio - $Mg(NO_3)_2$

✚ Grupo 4: Producen salinidad, pero no dureza

- ✓ Sulfato de Potasio – K_2SO_4
- ✓ Cloruro de Potasio – KCl
- ✓ Nitrato de Potasio – KNO_3
- ✓ Sulfato de Sodio – Na_2SO_4
- ✓ Cloruro de Sodio – $NaCl$
- ✓ Nitrato de Sodio – $NaNO$

2.2.3 Propiedades

De acuerdo al uso que se le dará al agua, son los requisitos de calidad de la misma. Comúnmente la calidad se juzga como el grado en el cual se ajusta a los estándares físicos, químicos y biológicos fijados por normas nacionales e internacionales. Es importante conocer los requisitos de calidad a fin de determinar si se requiere tratamiento, y qué procesos se deben aplicar para alcanzar la calidad deseada. Los estándares de calidad también se usan para vigilar los procesos de tratamiento y corregirlos, de ser necesario. El agua se evaluará en cuanto a su calidad, ensayando sus propiedades físicas, químicas y microbiológicas. Es necesario que los ensayos que evalúan dichos parámetros de calidad, deben tener la aceptación universal a fin de que sean posibles las comparaciones con los estándares de calidad.

En la provisión de agua se debe tener especial cuidado con los sabores, olores, colores y la turbidez del agua que se brinda, en parte porque dan mal sabor, pero también a causa de su uso en la elaboración de bebidas, preparación de alimentos y fabricación de textiles.

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismos se hacen con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana. El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua. La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener agentes patógenos adheridos a las partículas en suspensión.

El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las fuentes de agua superficial varían desde 10 hasta 1.000 unidades de turbidez, y los ríos muy opacos pueden llegar a 10.000 unidades.

CAPITULO III

ÁREA DE ESTUDIO

3.1 CONFIGURACIÓN ACTUAL

La Planta Purificadora de Agua tiene como entrada principal agua cruda (agua de pozo), y como salidas principales agua purificada para consumo humano y agua de rechazo (concentrado de sales de osmosis y de retrolavado de filtros).

Figura 1. Diagrama de Bloques del Proceso.



A detalle, el conjunto de la Planta Purificadora de Agua consiste de:

- Cisterna de Almacenamiento de Agua (volumen de 15 m³)
- Bomba de Alimentación de 1 HP
- Tanque Hidroneumático Vertical (capacidad 306 lt)
- Filtro Multimedia (Lecho Profundo)
- Filtro Carbón Activado
- Suavizador o unidad de intercambio iónico
- Microfiltros de retención de sólidos 5 micras
- Módulo de Ósmosis Inversa
 - Bomba de Alta Presión
 - Membranas de Ósmosis Inversa
- Sistema de Desinfección por Luz Ultravioleta (UV)
 - Módulo 1 8SS
 - Módulo 2 16SS
- Tanque de Almacenamiento de Agua Purificada (volumen de 1.5 m³)
- Bomba de llenado de garrafones de ¼ hp.
- Unidad de llenado de garrafones de 20 L.
- Bomba de lavado de garrafones 1/8 hp.
- Unidad de lavado de garrafones de 20 L.

Además cuenta con instrumentos, tales son:

- Manómetros de aguja
- Válvulas manuales liberadoras de presión.

3.2 FUNCIONAMIENTO

El proceso está diseñado para una producción que puede variar entre 300 garrafones al día hasta 600 garrafones, es decir un aproximado de $6 \text{ m}^3/\text{día}$ hasta $12 \text{ m}^3/\text{día}$

Un pozo de agua de pozo profundo que abastece la UMSNH, llena la cisterna de 15 m^3 , la cual sirve como tanque colchón para mantener alimentación constante a la planta purificadora. En caso de no haber abastecimiento de la red de agua de pozo, se llena dicha cisterna con pipas de agua.

La bomba de alimentación toma agua de la cisterna y la introduce a la planta. Seguido de la bomba, está instalado un tanque hidroneumático para mantener la presión del sistema en 80 lb.

El agua pasa a través de un filtro multimedia, donde los medios filtrantes remueven los sólidos en suspensión. Dependiendo de la cantidad de sólidos y tiempo de operación, el medio filtrante se satura y requiere un lavado manual en contracorriente para mantener la capacidad de retención.

El agua filtrada continúa su paso por un filtro de carbón activado, donde se elimina el olor, color, sabor y color residual a través de un proceso de adsorción del carbón activado. De la misma manera que el filtro multimedia, se realiza un lavado en contra corriente de forma manual.

Después de la filtración, el agua pasa por un suavizador o ablandador (unidad de intercambio iónico) para remover los minerales disueltos en la forma de Calcio, Hierro y Manganeseo. El agua pasa a través del tanque y una resina catiónica realiza el intercambio de dichos iones por iones de sodio. La resina se debe regenerar usando una solución de salmuera.

El agua llega al sistema de microfiltración (filtros pulidores), que consiste en dos unidades de filtrado que pueden atrapar partículas por encima de 5 micras; después de esta etapa el agua es alimentada a una bomba de alta presión para alimentar el agua a las membranas de Ósmosis Inversa, en la cual tenemos 2 salidas: agua tratada (permeato) y agua de rechazo (concentrado).

Por último, el agua tratada pasa por las unidades de desinfección por luz ultravioleta y al tanque de agua purificada donde se bombea hacia la estación de llenado de garrafones de 20 L.

A continuación se muestran las imágenes del proceso.

Figura 2. (1) Tanque Hidroneumático, (2) Filtro de Lecho Profundo y (3) Filtro de Carbón Activado.



Figura 3. (4) Suavizador, (5) Microfiltros, (6) Ósmosis Inversa y (7) Lámpara UV.



Figura 4. (7) Segundo Modulo UV.



3.2.1 CISTERNA (ALJIBE)

La cisterna funciona como alimentación de la Planta Purificadora. Se puede llenar con la línea del agua de pozo para abastecimiento de la red potable de Ciudad Universitaria o bien, solicitando pipas de agua de manantial. Tiene capacidad de almacenamiento de 15 m³. Como pre tratamiento, se puede adicionar cloro (en forma líquida o en pastillas), para eliminar los microorganismos y materia orgánica.

3.2.2 BOMBA ALIMENTACIÓN – HIDRONEUMÁTICO


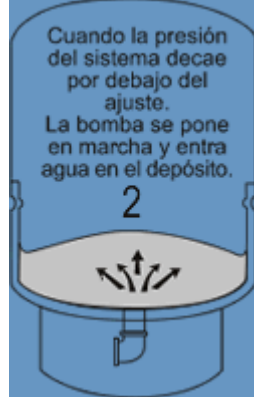
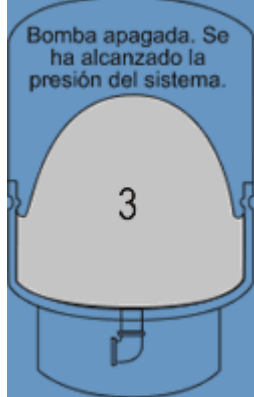

La succión de la bomba de alimentación dentro de la cisterna cuenta con una pichancha o cedazo para evitar que introduzca sólidos mayores a la bomba que puedan dañar el impulsor. La línea de descarga se conecta a un hidroneumático, el cual mantiene la presión en el sistema para que se puedan llevar a cabo las operaciones de filtración sin ninguna variación. La bomba tiene como flujo máximo de diseño hasta 60 lpm.

Figura 5. Entrada al Proceso.



Funcionamiento del tanque hidroneumático

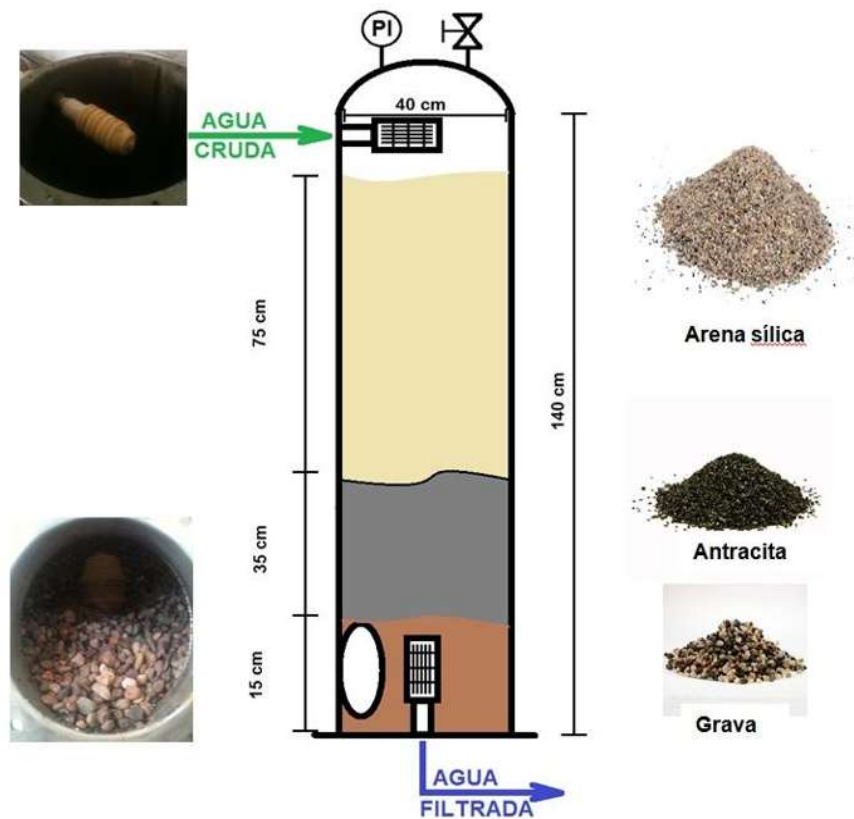
Tabla 4. Funcionamiento del tanque hidroneumático.

<p>1.-El hidroneumático tiene una cámara de aire sellada presurizada. El aire y el agua nunca entran en contacto, eliminándose cualquier posibilidad de "anegamiento" a causa de la pérdida de aire hacia el sistema de agua.</p>	<p>2.- Al ponerse en marcha la bomba, cuando la presión del sistema decae por debajo de la presión mínima de precarga. Sólo se almacena agua utilizable.</p>	<p>3.- Cuando la presión de la cámara alcanza la presión máxima del sistema, la bomba se apaga. El tanque está lleno a su máxima capacidad.</p>	<p>4.- Cuando existe demanda de agua, la presión de la cámara fuerza al agua a salir a la red.</p>
<p>Recinto precargado de aire, instalado en fábrica. Bomba apagada.</p>  <p>1</p>	<p>Cuando la presión del sistema decae por debajo del ajuste. La bomba se pone en marcha y entra agua en el depósito.</p>  <p>2</p>	<p>Bomba apagada. Se ha alcanzado la presión del sistema.</p>  <p>3</p>	<p>Hace falta agua. La bomba sigue apagada.</p>  <p>4</p>

3.2.3 FILTRO MULTIMEDIA (LECHO PROFUNDO)

Los filtros multimedia o de lecho profundo están compuestos por varias capas de medios filtrantes, de diferentes densidades y tamaño de partículas, con la finalidad de remover o eliminar sólidos suspendidos de hasta 20 micras presentes en el agua y disminuir su turbidez. El resultado es la completa clarificación del agua y la remoción de sólidos, los cuales quedarán retenidos en el filtro, para luego ser desechados por el drenaje durante la operación de retrolavado. El agua cruda entra por la parte superior a través de distribuidor (que funciona como un cedazo o filtro de retención, con aberturas de 0.3mm aproximadamente), hacia una cama de antracita, una cama de arena sílica (sílice) y una cama de grava sílica para llegar a un filtro de recolección en la base del tanque. La arena sílica y la antracita realizan la remoción de sólidos; mientras que la grava sirve como soporte de dichos medios filtrantes. El orden de los medios filtrantes responde a usar aquellos de mayor tamaño en la cama superior para atrapar partículas grandes, y en las capas inferiores atrapar las partículas pequeñas. Normalmente la antracita, de densidad media, queda por encima de los medios más pesados (arena, granate), brindando así una capa de prefiltración.

Figura 6. Diagrama del Filtro de Lecho Profundo.



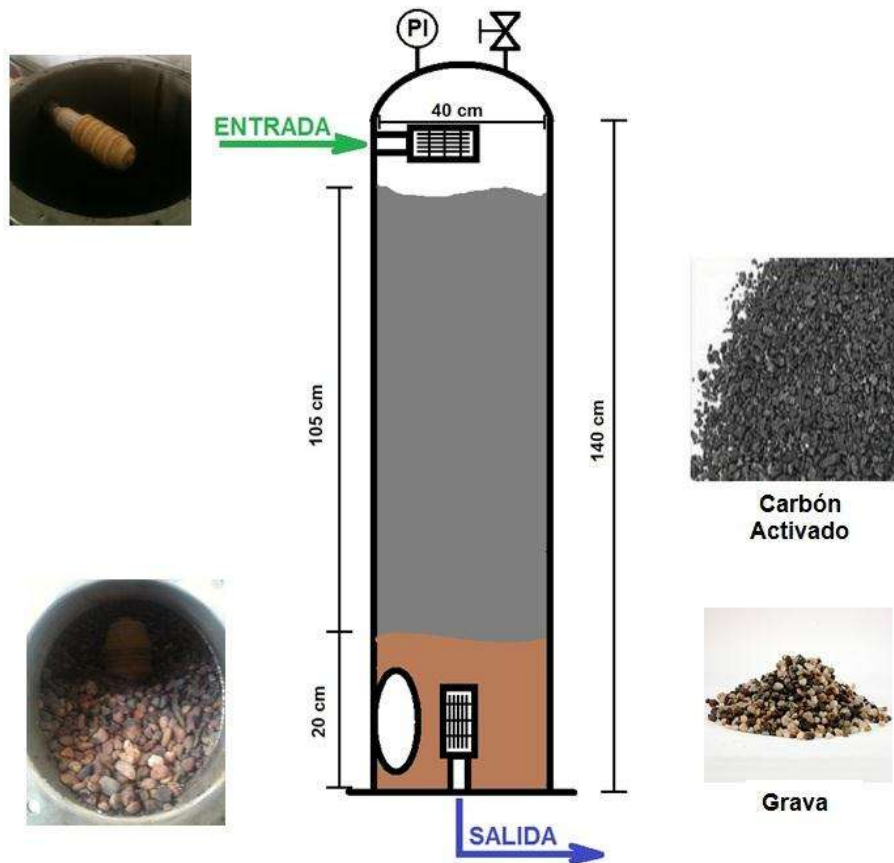
3.2.4 FILTRO CARBÓN ACTIVADO

El Carbón Activado tiene la habilidad de adsorber contaminantes (cloro, compuestos orgánicos, etc.) y así, producir agua libre de olores, colores, sabores y otros contaminantes no deseables.

La adsorción es un fenómeno fisicoquímico en el que ciertas moléculas se adhieren en la superficie de un sólido, en este caso, al carbono. El proceso de activación consiste en exponer el carbono a una temperatura alta, a una atmósfera especial e inyección de vapor, para formar varios poros dentro de la misma molécula de carbón, aumentando su superficie de contacto.

Una vez que pasó el agua por el filtro multimedia, el agua cruda pasa al filtro de carbón activado, por la parte superior, es alimentada por un distribuidor (filtro de retención) y desciende atravesando la cama de carbón activado, de manera que al llegar al fondo pasa por la grava soporte y entra por el filtro de recolección al siguiente proceso.

Figura 7. Diagrama del Filtro de Carbón Activado.

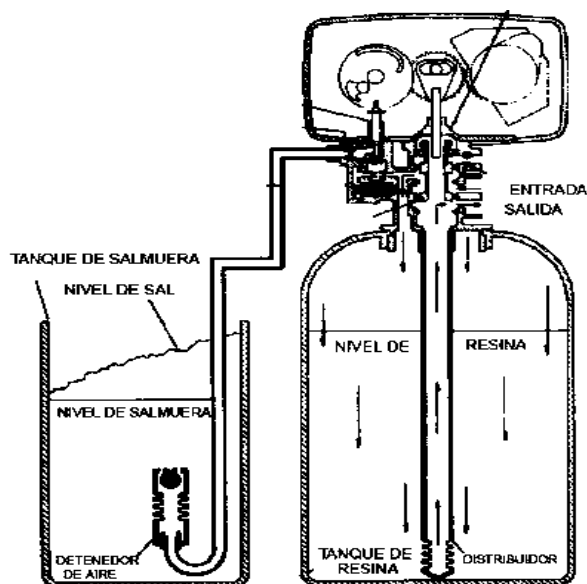


3.2.5 SUAVIZADOR (INTERCAMBIO IÓNICO)

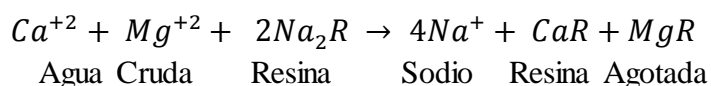
Los suavizadores tienen la finalidad de remover dureza del agua, de ahí su nombre de ablandadores. Esto quiere decir que las sales de calcio y magnesio presentes en el agua, serán removidas casi por completo del agua que se va a tratar. El suavizador hace su función a través de resinas de intercambio iónico de tipo catiónicas, que sustituyen el calcio y magnesio del agua por sodio; para lo cual, la resina requiere de una regeneración con sal (industrial) para recuperar su capacidad de intercambio.

El suavizador instalado es de 29 cm de ancho por 125 cm alto, de acero inoxidable. La resina utilizada es una resina catiónica de ácido fuerte, tipo poliestireno sulfonado-DVB (divinilbenceno), el tanque se llena con 2 ft³ de resina (aprox. 70 cm de altura del tanque) y está soportada por una cama de grava de 15 cm. El agua entra por el cuerpo del tanque, actúa con la resina (eliminando la dureza) y pasa a través de un filtro de recolección tipo canasta, hacia el tubo central, donde sale hacia la siguiente etapa.

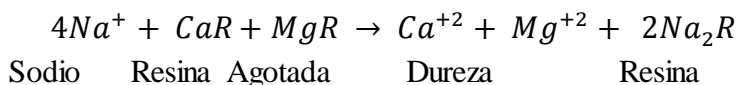
Figura 8. Diagrama del Intercambiador Iónico.



El proceso de intercambio es como sigue:



Para regenerar el suavizador, una solución fuerte de salmuera es usada. La solución fuerte de salmuera forzaría al calcio y al magnesio de regreso a la solución. Los cationes de sodio se adhieren a la resina para mantenerla eléctricamente neutra.



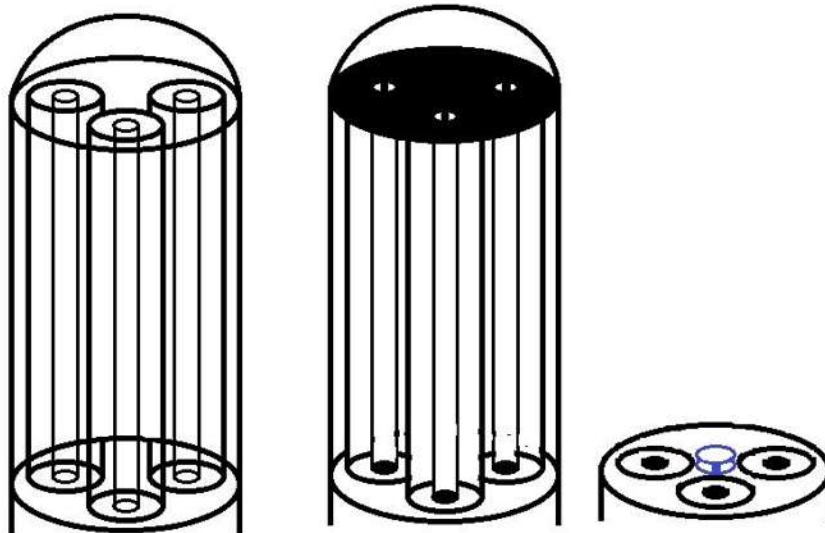
Existen 4 pasos del suavizador para que opere correctamente:

1. **Contralavado:** en el paso del contralavado, agua fresca fluye en una dirección hacia arriba a través de la cama de resina, la resina es expandida, y los sólidos en suspensión, que tienen una densidad más baja que la resina, son expulsados por el drenaje. La cama es empacada otra vez por el flujo de servicio, así que el contralavado afloja la cama para un mejor contacto de la salmuera en los pasos de salmuera.
2. **Salmuera y enjuague lento.** En este paso, una cantidad medida de salmuera es traída del tanque de salmuera y fluye lentamente hacia abajo, a través de la cama de resina. Después de que se introduce el monto medido de salmuera, un ciclo de enjuague lento, se enjuaga la solución de salmuera de la cama de resina; la resina retiene el sodio, y el calcio y magnesio son drenados.
3. **Enjuague rápido.** El enjuague rápido lava la resina en un flujo hacia abajo, para asegurar que toda la salmuera ha sido limpiada de la resina.
4. **Servicio.** El agua fluye a través de la cama de resina en un flujo hacia abajo, proveyendo agua suave a las líneas de servicio.

3.2.6 FILTROS PULIDORES (MICROFILTRACIÓN)

Antes de que el agua ingrese a los módulos de ósmosis inversa, es necesario remover la mayor cantidad de sólidos posibles; por lo que el agua pasa a través de 2 unidades de microfiltración con capacidad de retención de 5 micras (μm). Cada unidad de microfiltración cuenta con 3 cartuchos o filtros. El agua ingresa por la parte inferior de la carcasa y pasa a través de los filtros de afuera hacia adentro. En la parte superior de la carcasa está un plato que permite únicamente la salida del agua filtrada que viene del interior de los cartuchos hacia la siguiente etapa.

Figura 9. Diagrama de los Microfiltros.



3.2.7 ÓSMOSIS INVERSA

La ósmosis inversa es la separación de componentes orgánicos e inorgánicos del agua por el uso de presión ejercida en una membrana semipermeable mayor, que la presión osmótica de la solución. La presión obliga al agua a pasar a través de la membrana semipermeable, dejando atrás los sólidos disueltos. El resultado es un flujo de agua pura (permeato, esencialmente libre de minerales, coloides, partículas de materia y bacteria) y un flujo de agua de rechazo (concentrada de los minerales y partículas descartadas).

La membrana de osmosis inversa es una película de acetato de celulosa o de capa delgada TFC (thin film composite), parecido al celofán. El material filtrante de la membrana tiene una multitud de poros submicroscópicos en su superficie; el tamaño del poro de la membrana (0.0005 a 0.002 micrones) es mucho más pequeño que las aberturas de un filtro mecánico normal (1 a 25 micrones), por lo que requiere un diferencial de presión mucho más grande para hacer que el agua pase por la membrana, como la membrana tiene poca fuerza mecánica, debe tener un soporte fuerte para prevenir descompostura (vaso porta membranas de PVC Cédula 80 o acero inoxidable).

El agua clarificada, suavizada y filtrada llega a una bomba que provee de la presión necesaria (mayor a 100 psi y menor a 150 psi) para que se produzca el fenómeno de osmosis inversa. Para regular la presión se cuenta con una válvula a la salida de la bomba y con una válvula a la salida de los rechazos de las membranas.

Están instaladas 2 membranas en paralelo, a través de las cuales pasa el agua por la parte externa y el producto o permeato sale por un tubo interior del mismo extremo; mientras que el rechazo o concentrado sale por el extremo opuesto por la parte externa de la membrana (lo que no logró pasar por la membrana).

Figura 10. Membrana.



Figura 11. Porta Membrana.



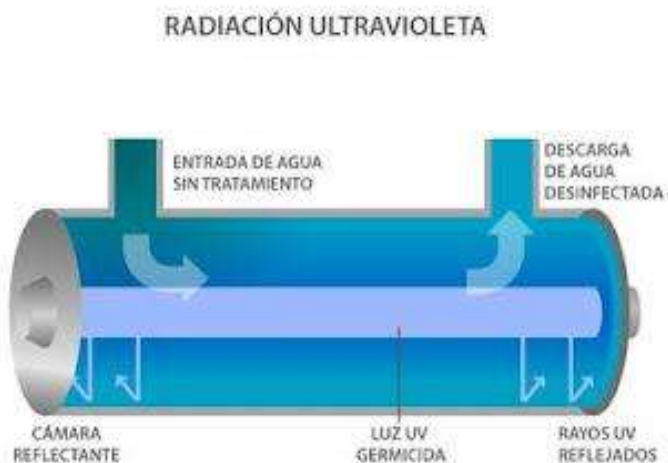
3.2.8 DESINFECCIÓN LUZ ULTRAVIOLETA

La desinfección de agua mediante luz Ultra Violeta (UV), garantizan una eliminación cercana al 99,9% de agentes patógenos; sin embargo, para lograr este grado de efectividad es imprescindible que los procesos previos del agua eliminen de forma casi total cualquier turbiedad de la misma, ya que la luz ultravioleta debe poder atravesar perfectamente el flujo de agua a tratar.

Los purificadores de agua por UV funcionan mediante la "radiación" o "iluminación" del flujo de agua con una o más lámparas de silicio cuarzo, con unas longitudes de onda de 200 a 300 nanómetros; por lo tanto, el agua fluye sin detenerse por el interior de los purificadores, que contienen estas lámparas. La radiación altera el DNA de las células, eliminando su reproducción y destruyendo las mismas, por lo que es un proceso altamente efectivo para control bacteriano, sin alterar las propiedades químicas del agua, ya que no adiciona reactivos.

Se tienen instalados 2 módulos de desinfección UV: el módulo 1 para baja capacidad (30 lpm) con sólo 1 lámpara y el módulo 2, para capacidad normal (30 lpm) con 2 lámparas.

Figura 12. Diagrama de una Lámpara UV.



3.2.9 RECOMENDACIÓN PARA INCLUIR AL PROCESO

3.2.9.1 OZONIFICADOR

El ozono actúa sobre el agua potable eliminando con gran eficacia por oxidación todos los elementos nocivos para la salud como son virus, bacterias, hongos, además de eliminar metales, los cuales pueden ser filtrados y eliminados del agua. Por adición de un átomo de oxígeno, su acción de ozonólisis le permite actuar sobre los enlaces dobles, fijando la molécula completa de ozono sobre los átomos de doble enlace (proteínas, enzimas). El conjunto de estas propiedades hace que actúe sobre los virus, los sabores, el color y sobre ciertos micro-contaminantes.

La dosificación de ozono puede ser en la línea de descarga o bien en el tanque (como es el caso de la planta); sin embargo, se recomienda que mínimo tenga una dosificación de 0.3 g/L durante 5 min.

3.3 MATERIALES, EQUIPO Y REACTIVOS.

Los materiales dependen muchas veces de las pruebas que se deban hacer, fortuitamente todos los equipos, materiales y reactivos se contaban dentro de las instalaciones o dependencias de la Facultad de Ingeniería Química.

3.3.1 INSPECCIÓN A LAS INSTALACIONES.

- Equipo de grabación o cámara de video.
- Personal de apoyo y mantenimiento.

3.3.2 INSPECCIÓN A LOS EQUIPOS.

- Equipo de grabación o cámara de video.
- Personal de apoyo y mantenimiento.
- Herramientas Manuales para apertura de equipos (Desarmador, destornillador, martillo, segueta).

3.3.3 PRUEBAS AL AGUA.

3.3.3.1 Pruebas Organolépticas.

- Personal de Apoyo.
- Espectrómetro DR-4000U.
- Equipo de grabación.

3.3.3.2 Pruebas Físico-Químicas.

Para todas las pruebas físico-químicas se ocupa lo siguiente (para cada prueba se especificara el material):

- Equipo de grabación o cámara de video.
- Personal de apoyo y mantenimiento.

Cloro Residual Libre

- Solución de Ortotolidina.
- Gotero de plástico.
- Escala para Cloro Residual.

Cloruros

- Solución de NaOH al 0.1 N.
- Solución Amortiguadora $Mg(OH)_2$.
- Solución indicadora K_2CrO_4 .
- 6 Vasos de precipitados de 250 mL.
- 1 Pipeta de 50 mL.
- 1 Pinza para pipeta.
- 1 Soporte Universal.

pH (Potencial de hidrogeno).

- Potenciómetro.
- 4 Vaso de Precipitados de 250 mL.

Solidos Suspendidos Totales (SST)

- 4 Cisoles de Acero Inoxidable.
- 1 Horno de 400 – 800°C.
- 1 Desecador.
- 1 Balanza Analítica.

Sulfatos (SO_4^-)

- 1 Erlenmeyer de 250 cm³.
- 1 Agitador magnético.
- 1 Espectrómetro DR-400U.
- 1 Espátula.

Conductividad

- 1 Amperímetro o Potenciómetro.
- 4 Vasos de precipitados.

3.3.3.3 Pruebas Bacteriológicas.

3.3.3.3.1 Presencia de Microorganismos

- Caldo lactosado.
- 30 Tubos Durham de 15 mL.
- Algodón.
- 1 Gradilla de metal.
- 1 Incubadora.
- 1 Autoclave.
- 3 Jeringas de 5 mL.
- 1 Mechero Bunsen.

3.3.3.3.2 Presencia de Coliformes

- Solución Verde Brillante Bilis.
- 30 Tubos Durham de 15 mL.
- Algodón.
- 1 Gradilla de metal.
- 1 Incubadora.
- 1 Autoclave.
- 3 Asas de platino.
- 1 Mechero Bunsen.

3.3.3.3.3 Presencia de Coliformes Fecales (Termotolerables).

- Solución EC Medio.
- 30 Tubos Durham de 15 mL.
- Algodón.
- 1 Gradilla de metal.
- 1 Incubadora.
- 1 Autoclave.
- 3 Asas de platino.
- 1 Mechero Bunsen.

3.4 METODOLOGIA GENERAL.

La inspección a las instalaciones, a los equipos y al agua, se realizara en el siguiente marco

3.4.1 INSPECCIÓN A LAS INSTALACIONES.

Revisión al Edificio donde se encuentra ubicada la planta, con el fin de encontrar probables daños en la edificación, así como daños estructurales o problemas en el edificio.

Haciendo hincapié en los siguientes puntos:

- Estructura en General
Con ayuda de un registro visual (Cámara Fotográfica), revisaremos que no presente daños estructurales severos (Grietas, cuarteaduras o rupturas).
Así mismo se revisara daños que puedan presentar un riesgo en el futuro próximo (Daños por Humedad, Goteras).
- Tendido Eléctrico
Con ayuda de un registro visual (Cámara Fotográfica), se revisara que todas las instalaciones cuenten con electricidad; pero primordialmente el área de proceso (para el uso de los equipos).
- Instalaciones
Con ayuda de un registro visual (Cámara Fotográfica), se hará una inspección a todas las áreas del edificio para corroborar que las instalaciones están siendo utilizadas de manera adecuada.

3.4.2 INSPECCIÓN A LOS EQUIPOS

Para inspección a los equipos, se realizara en dos partes; la primera parte se realizara mediante el registro visual, será hará poniendo en operación la planta, y cada equipo del proceso, con el fin de conocer si se encuentra en funcionamiento cada elemento.

La segunda parte de la inspección, se llevará a cabo mediante la revisión de los equipos de manera puntual, para observar si se encuentran en óptimas condiciones (Estado de las Lámparas UV, empaques, conexiones, tuberías, válvulas). En este punto también requeriremos de las pruebas que se le realizarán al agua, para determinar si el funcionamiento de los equipos es el óptimo.

3.4.3 PRUEBAS AL AGUA

3.4.3.1 Pruebas Organolépticas

Las pruebas al agua se determinarán en puntos específicos del proceso, para saber si el funcionamiento obtenido es el esperado.

Las pruebas que se realizarán al agua serán:

- Agua del Aljibe.
- Después del Filtro de Carbono.
- Después de los Filtros Pulidores (Microfiltros).
- Después del Equipo de Osmosis Inversa.

Color Verdadero.

Para esta prueba la norma no nos establece un método en concreto, simplemente se basa en una escala única de Pt-Co, para la cual utilizaremos el espectrómetro DR-4000U, que en su programa número 120, el cual es el específico para esta escala.

Para su uso se describe a continuación:

1. En una celda se verterá agua destilada, servirá de blanco (Referencia de color deseado)
2. A continuación se correrá el programa en el DR-4000U, con un espectro establecido (Luz Visible), y aquí nos surgirá el dato de color de referencia.
3. Ahora en otra celda se verterá el agua a estudiar.
4. Se corre el programa del espectrómetro, para darnos la medida en la escala deseada.

Turbidez.

Para esta prueba la norma no nos establece un método en concreto, simplemente se basa en una escala de turbiedad en unidades nefelométricas (UTN) o su equivalente a otro método, para la cual utilizaremos el espectrómetro DR-4000U, que en su programa número 3750 (turbidity).

1. En una celda se verterá agua destilada, servirá de blanco (Referencia).
2. A continuación se correrá el programa en el DR-4000U, con un espectro establecido (Luz Visible), y aquí nos surgirá el dato de turbidez de referencia.
3. Ahora en otra celda se verterá el agua a estudiar.
4. Se corre el programa del espectrómetro, para darnos la medida en la escala deseada.

Olor y Sabor

Para esta prueba la norma nos marca simplemente que el agua debe ser de olor y sabor agradable, para la mayoría de los consumidores. Para este caso de estudio se compara el olor y el sabor del agua en cada punto seleccionado, utilizando como referencia un agua de marca comercial conocida.

- Se analizarán ambas muestras en dos recipientes de 50 mL.
- Se procederá a olerlas, anotar las conclusiones.
- A continuación se ingerirán ambas muestras, en diferentes intervalos, para percibir el sabor de dichas muestras, y se señalarán las conclusiones.

3.4.3.2 Pruebas Físico-Químicas.

Cloro Residual Libre.

- Llenamos primeramente el recipiente que y colocamos 5 gotas de ortotolidina, tapamos y agitamos.
- Al añadir ortotolidina a un agua que contenga cloro residual, libre o combinado, se produce una coloración amarilla, susceptible de medir espectrofotométricamente o si se posee una escala, se puede hacer de manera visual.
- Después compara con la escala de coloración.

Cloruros.

- Utilizar un volumen de muestra de 100 mL. Ajustar el pH entre 7 y 10 utilizando las disoluciones de hidróxido de sodio (0,1N) y/o ácido sulfúrico (0,1N).
- Si la muestra tiene mucho color, añadir de 3 mL a 5 mL de la suspensión de hidróxido de aluminio antes de acondicionar. Mezclar, dejar sedimentar y filtrar con papel filtro cualitativo.

Valoración

- A 100 mL de muestra acondicionada, adicionar 1 mL de disolución indicadora de cromato de potasio. Valorar con la disolución patrón de nitrato de plata hasta el vire de amarillo a naranja rojizo, manteniendo un criterio constante en el punto final.
- Titular un blanco con las muestras.

Cálculos

$$Cl^- = \frac{[(A - B) \times N \times 35.450]}{\text{mL de Muestra}}$$

Dónde:

A son los mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración de la muestra.

B son los mL de disolución de nitrato de plata gastados en la valoración del blanco.

N es la normalidad del nitrato de plata.

pH (Potencial de hidrogeno) unidades de pH.

- Con ayuda de un potenciómetro, medir el pH de una solución patrón o blanco (Agua destilada).
- Ahora medimos el pH de nuestra muestra, y registrando los valores.
- Después de cada medición lavar el potenciómetro con agua destilada.
- Para que un valor se tome como válido, se requiere que este no cambie por lo menos 5 s (Heurística).

Sólidos disueltos totales (SST).

Valoración

- Primeramente se limpian los crisoles donde se pondrán las muestras, se secan perfectamente.
- Pasamos al horno y los dejaremos ahí durante 4 h, después los sacamos y los ponemos en un desecador, durante 45 min para que se enfríen.
- Ahora pesamos los crisoles en una balanza analítica, con mucho cuidado de no tocarlos directamente, registramos sus pesos; los volvemos a colocar en el horno durante 40 min y después los pasamos nuevamente al desecador, y ahí los dejamos durante 20 min.
- Volvemos a pesar los crisoles, sin el peso registrado no cambia, se procede a verter en ellos 50 mL de las muestras.
- Colocar los crisoles con la muestra sobre una parrilla, calentamos hasta el punto de ebullición.
- Una vez que las muestras evaporadas, se procede a pesar los crisoles.

Cálculos

$$SST = \left[(w_{cf} - w_{ci}) / A \right] \times 1000000$$

Dónde:

w_{cf} es el peso del crisol después de la evaporación de la muestra

w_{ci} es el peso del crisol.

A son los mL de muestra.

Sulfatos (SO_4^-).

Transferir a un matraz Erlenmeyer de 250 cm³ una muestra de 100 cm³, o una porción conveniente aforada con agua a 100 cm³. Añadir exactamente 5.00 cm³ del reactivo acondicionador y mezclar en el aparato agitador.

Valoración

- Mientras la solución se está agitando, añadir el contenido de una cucharilla llena de cristales de cloruro de bario y empezar a medir el tiempo inmediatamente. Agitar durante un minuto exacto a una velocidad constante, cada corrida de muestras y de patrones, y debe ajustarse a casi el máximo al cual no ocurran salpicaduras.
- Inmediatamente después de terminar el período de agitación, verter algo de la solución a la celda de absorción del fotómetro y medir la turbiedad a intervalos de 30 s, durante 4 minutos.

Cálculos

$$\frac{mg}{L} SO_4 = \frac{mg SO_4 \times 1000}{cm^3 \text{ de muestra}}$$

Conductividad

- Con ayuda de un potenciómetro, medir la conductividad de una solución patrón o blanco (Agua destilada).
- Ahora medimos la conductividad de nuestra muestra, y registrando los valores.

3.4.3.3 Pruebas Bacteriológicas

Presencia de Microorganismos.

- Se prepara una solución de caldo lactosado, que estimula el crecimiento de microorganismos.
- Inmediatamente colocamos 9 mL de esta solución, en tubos de fermentación Durham de 15 mL.
- Tapamos con algodón, y los introducimos en una autoclave para la esterilización.
- Las colocamos en la autoclave durante 45 min, para asegurar la esterilización.
- Dejamos que se enfríen los tubos, aproximadamente durante 30 min.
- A continuación se saca los tubos, y con ayuda de unas jeringas colocamos el agua de las muestras en alícuotas de 5 mL, 1 mL y 0.1 mL, dentro de los tubos respectivamente.
- Ahora volvemos a tapar con el algodón, y los colocamos dentro de una incubadora 37°C para estimular el crecimiento, durante 48h.
- Después de 48 horas sacamos los tubos, una prueba positiva de la existencia de microorganismos, será la presencia de una burbuja dentro de la celda.

Presencia de Coliformes Fecales.

- Esta prueba se hace a los que hayan resultado positivo para la prueba de microorganismos.
- Se prepara una solución verde brillante bilis, que estimula el crecimiento de microorganismos, específicamente los Coliformes.
- Inmediatamente colocamos 9 mL de esta solución, en tubos de fermentación Durham de 15 mL.
- Tapamos con algodón y los introducimos en una autoclave, para la esterilización.
- Las colocamos en la autoclave durante 45 min, para asegurar la esterilización.
- Dejamos que se enfríen los tubos, aproximadamente durante 30 min.
- A continuación con ayuda de una asa de platino, vamos a tomar una asada de la solución bacteriana, de los tubos que dieron positivo.
- Ahora volvemos a tapar con el algodón, y los colocamos dentro de la incubadora a 37°C, para estimular el crecimiento, durante 48 horas.
- Después de 48 h sacamos los tubos, una prueba positiva de la existencia de microorganismos, será la presencia de una burbuja dentro de la celda.

Prueba Confirmativa de Coliformes Fecales (Termotolerables).

- Transferir de 2 a 3 asadas de cada tubo positivo obtenido durante la prueba presuntiva, a tubos que contiene caldo EC (E. Coli), con campana de Durham.
- Agitar suavemente los tubos para su homogeneización.
- Incubar a 44°C durante 24 a 48 horas.
- Registrar como positivos aquellos tubos en donde se observe turbidez (crecimiento) y producción de gas, después de un período de incubación de 24 a 48 horas.

CAPITULO IV.

RESULTADOS

4.1 ESTADO DE LA PLANTA.

La planta no ha entrado en marcha desde 1998, con lo cual gran parte de los equipos se encuentran funcionando pero no en óptimas condiciones, además de falta de mantenimiento no solo a los equipos, sino a las instalaciones, el edificio presenta daños visibles (humedad, grietas,...).

4.1.1 ZONA DE PROCESO.

Figura 13. Condiciones Actuales del Proceso (I).



Figura 14. Condiciones Actuales del Proceso (II).



Figura 15. Daños al tendido Eléctrico.



Figura 16. Daños en el Edificio.



Figura 17. Condiciones Actuales del Proceso (III).



4.1.2 ZONA DE CARGA O ALMACENAMIENTO.

Figura 18. Uso Inadecuado de las Instalaciones.



Figura 19. Falta de Mantenimiento.



Figura 20. Uso Inadecuado de las Instalaciones (II).



Figura 21. Daños a causa de la Humedad.



4.1.3 ZONA DE ANÁLISIS (LABORATORIO)

Figura 22. Uso Inadecuado de las Instalaciones (III)



Figura 23. Carencia de Servicios y Equipo en el área de Análisis.



Figura 24. Daños a causa de la Humedad (II).



4.2 ESTADO DE LOS EQUIPOS.

De acuerdo a la configuración actual descrita, se operó la planta para evaluar las condiciones físicas de cada uno de los equipos. A continuación se muestra una tabla con los equipos que conforman cada una de las partes del proceso, así como sus especificaciones y estado con sus observaciones:

Tabla 5. Descripción del Estados Equipos.

ETAPA O PROCESO	EQUIPO	ESPECIFICACIÓN	ESTATUS	OBSERVACIÓN
ALIMENTACIÓN	BOMBA DE ALIMENTACION	-Jet Evans 1 hp -JS2ME100E -Fmax 60 lpm	-Flujo verificado a 58 lpm. - No presenta ruidos o señales de desalineamiento.	Por la falta de operación, es posible que presente corrosión. Se recomienda cambiar la bomba por una de hacer inoxidable por cuestiones de higiene y salud.
	TANQUE HIDRONEUMÁTICO	-Evans -EQTHD306V -Diafragma de Acción Controlada (DAC). -Pmax 100 psi -Descarga entre 40 y 60 psi	-En buen funcionamiento, cumple manteniendo la presión constante en todo el proceso. -No funciona la válvula de seguridad del Equipo.	La falta de funcionamiento de la válvula, es un riesgo muy alto en cuanto a la seguridad, tanto del operador, como del equipo.
	TANQUE	-Tanque cilíndrico de acero inoxidable de 175 L. -Fondo plano y tapa cilíndrica.	-No presenta fugas en las soldaduras ni rastro de corrosión. -Fugas en las conexiones, y las tapas, alrededor debido	

FILTRACIÓN DE LECHO PROFUNDO			a los empaques.	
	MATERIAL FILTRANTE: ARENA SILICA			Caducado
	MATERIAL FILTRANTE: ANTRACITA			Caducado
	MATERIAL FILTRANTE: GRAVA			Caducado
FILTRACIÓN CARBÓN ACTIVADO	TANQUE	-Tanque cilíndrico de acero inoxidable de 175 L. -Fondo plano y tapa cilíndrica.	-No presenta fugas en las soldaduras ni rastros de corrosión. -Fugas en las conexiones, y las tapas, alrededor debido a los empaques.	
	MATERIAL FILTRANTE: CARBÓN ACTIVADO			Caducado
	MATERIAL FILTRANTE: GRAVA			Caducado

INTERCAMBIO IÓNICO (SUAVIZADOR)	TANQUE CON VALVULA SF28	-Tanque cilíndrico de acero inoxidable 29cm x 125 cm -Válvula SF28, de control automático.	-El cilindro no presenta daño por corrosión. -La válvula, así como su empaque presentan fugas, así como mal funcionamiento.	
	MATERIAL DE INTERCAMBIO: GRAVA			Caducado
	MATERIAL DE INTERCAMBIO : RESINA CATIONICA			Caducado
	TANQUE DE SALMUERA	-Tanque cilíndrico de 60 cm x 40 cm de PVC.	-No presenta fugas.	Sucio
	MATERIAL DE INTERCAMBIO: SAL COMÚN			Caducado
FILTROS PULIDORES (MICROFILTRACIÓN)	UNIDAD 1	-Tanque cilíndrico de 70 cm x 20 cm, de acero inoxidable	-Presenta fugas en los empaques e interconexiones. -No presenta corrosión.	Se recomienda el cambio la sustitución de los cartuchos debido a la falta de mantenimiento.
	UNIDAD 2	-Tanque cilíndrico de 70 cm x 20 cm, de acero inoxidable	-Presenta fugas en los empaques e interconexiones. -No presenta corrosión.	Se recomienda el cambio la sustitución de los cartuchos debido a la falta de mantenimiento.

ÓSMOSIS INVERSA	2 MEMBRANAS	-Acetato de Celulosa, Polidepth 20''		Se recomienda la sustitución de la membrana, falta de mantenimiento.
	2 PORTA MEMBRANA	-PVC Cédula 80	-No presenta fugas	
TRATAMIENTO DE LUV	MODULO 1	- 1 Lámpara -30 lpm	-No presenta fugas. -Los focos presentan daños. -Balastos con presencia de corrosión.	Sustitución de la lámpara, y balastro.
	MODULO 2	-2 Lámparas -30 lpm	-No presenta fugas. -Los focos presentan daños. -Balastos con presencia de corrosión.	Sustitución de las lámparas, y balastos.
ALMACENAJE	TANQUE	-PAILA DE 100 cm x 180 cm, de acero inoxidable	-No presenta corrosión o fugas.	

4.3 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS AL AGUA DE PROCESO

4.3.1 PRUEBAS ORGANOLÉPTICAS

Tabla 6. Resultado de Pruebas Organolépticas.

MUESTRA/PRUEBA	CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y ORGANOLEPTICAS							
	COLOR (UECu-Pt)			TURBIDES			OLOR	SABOR
	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN		
ALGIBE	0	<=20	CUMPLE	0	<=5	CUMPLE	AGRADABLE	AGRADABLE
FILTRO DE CARBONO	0	<=20	CUMPLE	0	<=5	CUMPLE	AGRADABLE	AGRADABLE
FILTROS (PULIDORES)	0	<=20	CUMPLE	0	<=5	CUMPLE	AGRADABLE	AGRADABLE
OSMOSIS INVERSA	0	<=20	CUMPLE	0	<=5	CUMPLE	AGRADABLE	AGRADABLE

4.3.2 PRUEBAS FÍSICO-QUÍMICAS

Tabla 7. Resultado de Pruebas Físico-Químicas.

MUESTRA/PRUEBA	PH			CLORO RESIDUAL		
	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSION
ALGIBE	8.15	6.5 - 8.5	CUMPLE	0	0.2-1.50	NO CUMPLE
FILTRO DE CARBONO	7.4	6.5 - 8.5	CUMPLE	0	0.2-1.50	NO CUMPLE
FILTROS (PULIDORES)	7.36	6.5 - 8.5	CUMPLE	0	0.2-1.50	NO CUMPLE
OSMOSIS INVERSA	7.29	6.5 - 8.5	CUMPLE	0	0.2-1.50	NO CUMPLE

Tabla 8. Resultado de Pruebas Físico-Químicas (Continuación).

MUESTRA/PRUEBA	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA (μs)			SÓLIDOS SUSPENDIDOS TOTALES		
	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN
ALGIBE	593	NO MARCA	S/CONCLUSION	432	<=1000	CUMPLE
FILTRO DE CARBONO	551	NO MARCA	S/CONCLUSION	378	<=1000	CUMPLE
FILTROS (PULIDORES)	524	NO MARCA	S/CONCLUSION	410	<=1000	CUMPLE
OSMOSIS INVERSA	542	NO MARCA	S/CONCLUSION	326	<=1000	CUMPLE

Tabla 9. Resultado de Pruebas Físico-Químicas (Continuación).

MUESTRA/PRUEBA	CLORUROS (Cl ⁻)			SULFATOS (SO ₄ ⁻²)		
	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN	OBTENIDO	NORMA	CONCLUSIÓN
ALGIBE	33.65	<=250	CUMPLE	14.54	<=400	CUMPLE
FILTRO DE CARBONO	33.65	<=250	CUMPLE	14.93	<=400	CUMPLE
FILTROS (PULIDORES)	33.65	<=250	CUMPLE	14.83	<=400	CUMPLE
OSMOSIS INVERSA	28.04	<=250	CUMPLE	14.34	<=400	CUMPLE

4.3.3 PRUEBAS MICROBIOLÓGICAS

Tabla 10. Presencia de Microorganismos.

MUESTRA/PRUEBA	PRUEBA PRESENCIA DE MICROORGANISMOS								
	5 ml			1 ml			0.1 ml		
ALGIBE	P	P	P	P	N	P	N	N	P
FILTRO DE CARBONO	P	N	P	N	N	P	N	N	N
TRATAMIENTO LUV	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tabla 11. Presencia de Coliformes Fecales.

MUESTRA/PRUEBA	PRUEBA PRESENCIA DE COLIFORMES TOTALES								
	5 ml			1 ml			0.1 ml		
ALGIBE	N	N	N	N	N	N	N	N	P
FILTRO DE CARBONO	P	N	P	N	N	P	N	N	N
TRATAMIENTO LUV	N	N	N	N	N	N	N	N	N

Tabla 12. Presencia de Termotolerables (E. Coli).

MUESTRA/PRUEBA	PRUEBA COLIFORMES TERMOTOLERABLES (E. coli)								
	5 ml			1 ml			0.1 ml		
ALGIBE	N	N	N	N	N	N	N	N	N
FILTRO DE CARBONO	N	N	N	N	N	N	N	N	N
TRATAMIENTO LUV	N	N	N	N	N	N	N	N	N

4.4 COTIZACIONES

En seguida se presenta una cotización para la reactivación de los equipos, así como el mantenimiento a las instalaciones.

Todas las cotizaciones expuestas son dadas por los proveedores directamente.

4.4.1 Rehabilitación de la Planta [Anexo 2].

4.4.1.1 Cotización Materiales Filtrantes

Tabla 13. Cotización de Materiales Filtrantes.

DESCRIPCION	PRECIO M.N.
1. Carga de material filtrante para Filtro de Lecho Profundo	\$ 5,500.00
2. Carga de Carbón Activado de cascara de Coco 75kg (Precio Unitario \$82)	\$ 6,150.00
3. Carga de Resina Catiónica 1ft ³ para filtro Suavizador. Precio Unitario \$2100	\$ 4,200.00
4. 50kg de Grava de 3/8" para soporte de Filtros de Carbón Activado y Suavizador	\$ 230.00
5. 4 Costales de Sal de Grano (Pureza Media). Precio unitario \$180	\$ 720.00
6. 6 Cartuchos de Polidepth 20" (3 de 1μ y 3 de 5μ). Precio Unitario \$190	\$ 1,140.00
	\$ 17,940.00

4.4.1.2 Cotización de la Instalación, Mano de Obra, Refacciones y Conexiones.

Tabla 14. Cotización de Instalación y Refacciones.

DESCRIPCIÓN	PRECIO M.N.
1. Mano de obra por cambio de empaques para Filtro de Lecho Profundo, Filtro de Carbón Activado y Filtro Suavizador	\$800.00
2. Mano de obra por Instalación de Osmosis y conexiones dañadas de los equipos.	\$4,500.00
3. Mano de obra Desarmado de Equipos, Carga y Descarga de materiales Filtrantes del Filtro de Lecho Profundo, Filtro de Carbón Activado y Filtro Suavizador.	\$2,200.00
4. 1 Rollo de Empaques para Filtros	\$750.00
5. Valvula sheck de 1"	\$120.00
6. Switch de Presión 30-50 psi/in ²	\$280.00
7. 3 Focos UV 8SS 30 LPM. Precio Unitario \$700	\$2,100.00
8. 3 Balastro 8SS. Precio Unitario \$400	\$1,200.00
9. Válvula para Suavizador SF28	\$7,000.00
10. Conexiones, Válvulas y tuberías para correcciones de los equipos e instalación del Equipo de Osmosis Inversa	\$2,500.00
	\$21,450.00

4.4.1.3 Cotización de los Materiales y Equipos Auxiliares

Tabla 15. Cotización de Equipos Auxiliares.

DESCRIPCIÓN	PRECIO M.N.
1. Medidor de Dureza	\$ 650.00
2. Medidor de TDS1	\$ 1,250.00
3. Medidor de Cl y pH	\$ 150.00
	\$ 2,050.00

NOTAS:

- Se cotiza en base al cambio de dólar del día (El precio está sujeto a cambios). Esta cotización tiene una vigencia de 15 días. Los precios no incluyen IVA.
- Las fechas de Instalación es de 2-3 días después de la entrega de los insumos.
- La cotización se dio con la empresa EYS (EQUIPOS Y SISTEMAS DE MICHOACAN).

4.4.2 Adquisición de una Nueva Planta de misma capacidad [Anexo 3].

Tabla 16. Cotización de Nva. Planta.

DESCRIPCIÓN	PRECIO M.N.
Hidroneumatico 50 L, 1 hp	\$ 5,858.00
Filtro Lecho Profundo de 8"x44" con multivalvulas	\$ 4,031.00
Filtro deCarbon Activado de 8"x44" con multivalvulas	\$ 4,161.00
Filtro Suavizador de 8"x44" automatico	\$ 6,815.00
Sistema de Osmosis Inversa 1600 GPD	\$ 30,711.00
Porta Cartucho Pulidor	\$ 1,088.00
Lampara Germicida de LUV IP-15	\$ 3,190.00
Lavadora de 2 Garrafones	\$ 8,500.00
Llenadora de 3 valvulas	\$ 5,500.00
Tanque de Almacenamiento De Agua	\$ 9,020.00
Material de Interconexión	\$ 6,500.00
Instalación y Mano de Obra	\$ 6,500.00
Implementos de Operación	\$ 4,221.00
Flete y Viaticos	\$ 4,000.00
IVA	\$ 16,015.20
Total	\$ 116,110.20

- Se cotiza en base al cambio de dólar del día (El precio está sujeto a cambios). Esta cotización tiene una vigencia de 15 días.
- La cotización se dio con la empresa Plantas y Embotelladora de Agua PURITRONIC S.A. de C.V.

4.4.3 Adquisición de una Nueva Planta de Diferente Capacidad

Tabla 17. Cotización de una planta de 300 Garrafrones por día

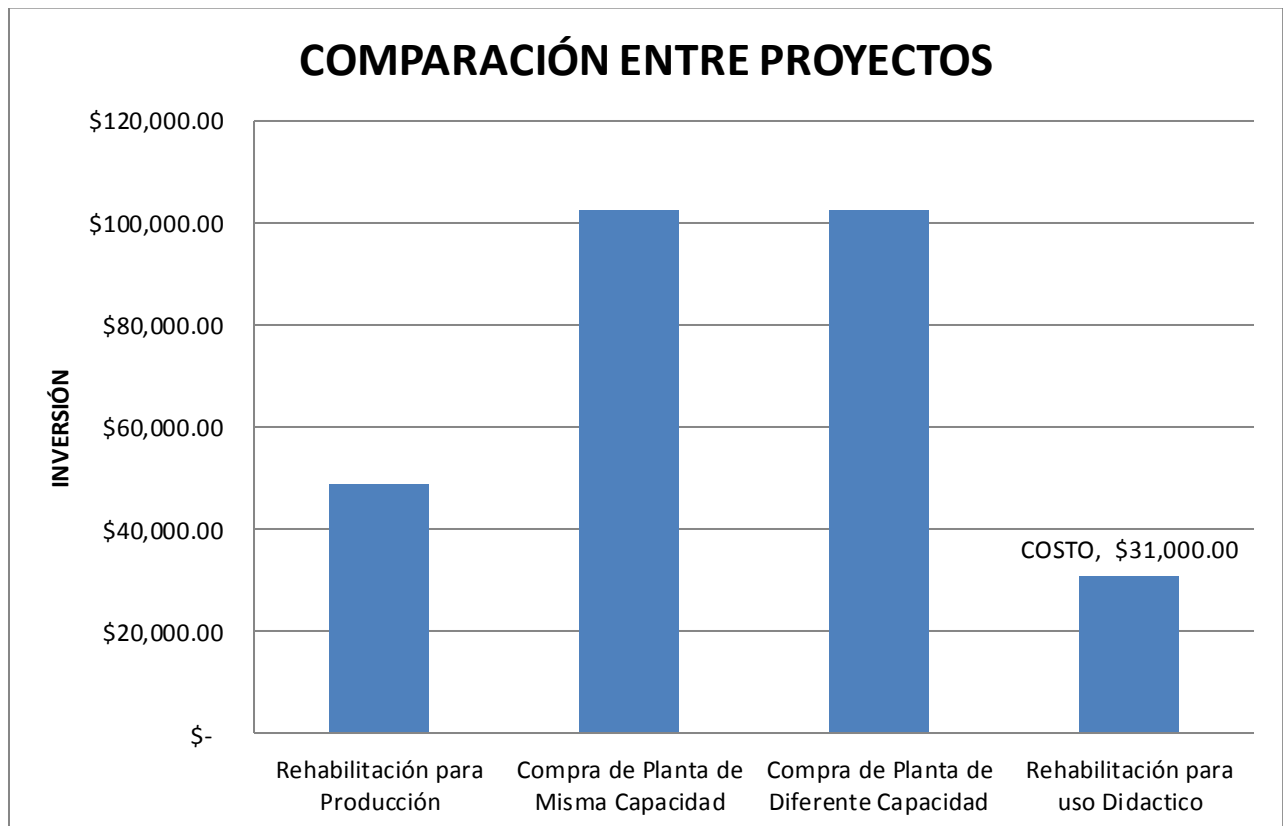
DESCRIPCIÓN	PRECIO MN.
1 Tanques Hidroneumáticos de 50 L, 1 HP	\$ 5,858.00
1 Filtro de Lecho Profundo 8"x44" con Multivalvula	\$ 4,031.00
1 Filtro de Carbón Activado 8"x44" con Multivalvula	\$ 4,161.00
1 Filtro Suavizador 8"x44" Automatico	\$ 6,815.00
1 Sistema de Osmosis Inversa de 1600 GDP	\$ 30,711.00
1 Portacartuchos Pulidor	\$ 1,087.50
1 Lámpara Germicida de LUV IP-15	\$ 3,190.00
1 Lavadora de 1 Garrafón	\$ 6,900.00
1 Llenadora de 2 valvulas	\$ 4,500.00
1 Tanque de Almacenamiento	\$ 9,013.56
Material de Interconexión	\$ 6,500.00
Instalación y Mano de Obra	\$ 6,500.00
Implementos de Operación	\$ 4,221.00
Flete y Viaticos	\$ 3,900.00
IVA	\$ 15,414.08
Total a Pagar	\$ 112,802.14

- Se cotiza en base al cambio de dólar del día (El precio está sujeto a cambios). Esta cotización tiene una vigencia de 15 días.

4.5 Comparación entre Proyectos

Tabla 18. Comparación entre Proyectos.

PROYECTO	RUBRO	COSTO
Rehabilitación de la Planta para la producción	EQUIPOS	\$ 23,500.00
	MATERIALES	\$ 17,940.00
	INSTALACIÓN	\$ 7,500.00
	TOTAL S/IVA	\$ 48,940.00
Rehabilitación de la Planta para uso Didactico	EQUIPOS	\$ 23,500.00
	MATERIALES	\$ -
	INSTALACIÓN	\$ 7,500.00
	TOTAL S/IVA	\$ 31,000.00
Compra de una nueva Planta de Misma Capacidad	EQUIPOS	\$ 77,114.00
	MATERIALES	\$ 10,721.00
	INSTALACIÓN	\$ 14,721.00
	TOTAL S/IVA	\$ 102,556.00
Compra de una nueva Planta de diferente Capacidad	EQUIPOS	\$ 76,266.00
	MATERIALES	\$ 10,721.00
	INSTALACIÓN	\$ 14,621.00
	TOTAL S/IVA	\$ 101,608.00



CAPITULO V.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

El fin de esta tesis, era poder determinar y plantear un proyecto para la rehabilitación de la Planta Purificadora de la Facultad de Ingeniería Química, en el caso de que fuera viable.

En base a la hipótesis y objetivos planteados se llevó a cabo, un diagnóstico completo para identificar las condiciones operativas del proceso, para determinar la inversión necesaria de la acción correctiva de la Planta Purificadora de la Facultad de Ingeniería Química.

Este estudio presenta como conclusión principal, que constituye el cumplimiento de la hipótesis, de que es posible la rehabilitación de la Planta Potabilizadora de la Facultad de Ingeniería Química, ya que la inversión para la rehabilitación es menor a la compra de la opción planteada para la adquisición de una nueva Planta con características similares, producción y costo de mantenimiento.

La inversión necesaria ya sea para la Rehabilitación o la compra de una nueva Planta, es una inversión considerable, por este motivo se planteó un nuevo proyecto. El cual es acondicionar la Planta Potabilizadora de la Facultad de Ingeniería Química, con un fin didáctico, que sirva en la preparación de futuros ingenieros químicos, de dicha institución. Dicho proyecto utiliza una inversión menor que las planteadas por las opciones anteriores, además de que posee un impacto significativo, no solo en la formación de alumnos, sino también en el objetivo principal de la Facultad de Ingeniería Química.

BIBLIOGRAFÍA

CONAGUA. (2009). *Mexican National Water Commission-Water Atlas in Mexico*. Mexico.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1981). *NMX-AA-074-1981 "DETERMINACION DEL ION SULFATO"*. México D.F.: Secretaría de Economía .

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1986). *NMX-AA-079-SCFI-2001 "DETERMINACIÓN DE NITRATO EN AGUAS NATURALES, POTABLES, RESIDUALES Y TRATADAS"*. México D.F.: Secretaría de Economía.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1987). *NMX-AA-42-1987 "DETERMINACIÓN DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALES Y Escherichia coli PRESUNTIVA"*. México D.F.: Secretaría de Economía.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). *NMX-AA-038-SCFI-2001 "DETERMINACIÓN DE TURBIDAD EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y TRATADAS"*. México D.F.: Secretaría de Economía.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). *NMX-AA-045-SCFI-2001 "DETERMINACIÓN DE COLOR PLATINO-COBALTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y TRATADAS"*. México D.F.: Secretaría de Economía.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2001). *NMX-AA-073-SCFI-2001 DETERMINACIÓN DE CLORUROS*. México D.F.: Secretaría de Economía.

Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (2011). *NMX-AA-008-SCFI-2011 "DETERMINACIÓN DEL PH"*. México D.F.: Secretaría de Economía.

Secretaría de Economía . (2001). *NMX-AA-073-SCFI-2001*. México D.F.: Secretaría de Economía .

Secretaría de Salud. (1994). *NOM-109-SSA1-1994 "PROCEDIMIENTO PARA LA TOMA, MANEJO Y TRANSPORTE DE MUESTRA DE ALIMENTOS PARA SU ANÁLISIS"*. México D.F.: Secretaría de Salud.

Secretaría de Salud. (1994). *NOM-112-SSA1-1994 "DETERMINACIÓN DE BACTERIAS COLIFORMES"*. México D.F.: Secretaría de Salud.

ANEXOS

1. NORMA OFICIAL MEXICANA NOM--73-SCFI-2001.
2. ESPECIFICACIONES DE LOCAL PARA CENTRO DE LLENADO.
3. Cotización Plantas y Embotelladoras de Agua PURITRONIC S.A. de C.V.
 - a. Planta de 12 m³/día.
 - b. Planta de 6m³/día.
4. Cotización Equipos y Sistemas de Michoacán.