



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE MÉXICO



**FACULTAD DE QUÍMICA**

**“EVALUACIÓN TÉCNICO-ECONOMICA DE PROPUESTAS EN  
PROCESOS PARA POTABILIZAR AGUA EN UNA PLANTA TRATADORA  
DE AGUA QUÍMICA RESIDUAL CUMPLIENDO CON LA NOM-127-SSA1-  
1994”**

**T E S I N A**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO QUÍMICO**

**P R E S E N T A**

**ROSA GONZALEZ GUADARRAMA**

**DIRECTOR DE TESINA:**

**DR. EN C.A. CARLOS EDUARDO BARRERA DÍAZ**

**ASESOR EXTERNO:**

**M. EN A. LEOPOLDO ORIVE BALLESTEROS**

**TOLUCA, EDO. MÉX.**

## **DEDICATORIAS**

**Dedicado a ti que tanta falta me hiciste...C. G. O**

**Dedicado a mi más grande amor...**

**Dedicado al párroco Elfego Gómez Reza, tal como lo prometí.**

**Dedicado a todas aquellas personas que confiaron y creyeron en mí...**

**Dedicado a la Dra. Sandra Luz Vargas Martínez por asesorarme y apoyarme en  
mi trayectoria académica.**

## **AGRADECIMIENTOS**

*A mi madre Esperanza Guadarrama, la mujer más valiosa, emprendedora, digna de admiración quien fue madre y padre para mí, a mi grande y hermosa familia (Luisa, Irene, Lupis, etc.), que tanto les debo y por quien emprendí este reto, porque mi logro es su logro!!!*

*A ese ingeniero que además de ser una gran persona y el primero en creer en mí como profesional es un gran ejemplo profesional para mí a seguir: Leopoldo Orive*

*Al Dr. En C. Carlos Eduardo Barrera por guiarme y apoyarme no solo en este trabajo si no en la trayectoria académica para convertirme en un Ingeniero Químico*

*A mi amiga y hermana Marilú por estar conmigo en los mejores y peores momentos de mi vida; gracias por esos 8 años de existir en mi vida.*

*A Soledad y Néstor por estar conmigo cuando más los necesite y ser un hombro en quien apoyarme.*

*A todos aquellos que estuvieron y están conmigo apoyándome, gozando, sufriendo y riendo conmigo a lo largo de mi vida.*

*Una meta ha sido cumplido mil palabras no bastarían para agradecerles su apoyo, su comprensión y sus consejos en los momentos difíciles. Gracias por haber fomentado en mí el deseo de superación en la vida, por compartir mis penas y mis alegrías siempre con una palabra de aliento para continuar luchando y heme aquí convertida en profesional para conquistar nuevas metas y lograr la realización personal; a ustedes debo este logro y con ustedes felizmente lo comparto que Dios los bendiga y los guarde para siempre.*

## ÍNDICE

<b>CONTENIDO</b>	<b>PÀG.</b>
1. Resumen.....	8
2. Introducción.....	9
3. Antecedentes.....	11
3.1 Contaminación Física, Química y Biológica del Agua.....	11
3.2 Normatividad (NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1- 1994).....	14
Límites Permisibles de Calidad del Agua	
3.2.1 Límites Permisibles de Características Bacteriológicas.....	14
3.2.2 Límites Permisibles de Características Físicas y Organolépticas.....	15
3.2.3 Límites Permisibles de Características Químicas.....	16
3.2.4 Límites Permisibles de Características Radiactivas.....	18
3.3 Tecnologías para el Tratamiento de Agua Residual.....	18
4. Descripción de Propuestas.....	21
4.1 Descripción y Caracterización del Agua Química Residual a tratar.....	21
4.2 Propuesta 1: Tratamiento Electro-ionización, Floculación por Aire Disuelto ( DAF), Ultrafiltración (UF), Ozono y Osmosis Inversa (OI) para un Sistema de Agua Potable de 100 m <sup>3</sup> /día.....	22
4.2.1 Ingeniería Básica para Propuesta 1.....	26
4.3 Propuesta 2: Tratamiento Físico-Químico (Coagulación) para un Sistema de Agua Potable de 100 m <sup>3</sup> /día.....	32
4.3.1 Ingeniería Básica para Propuesta 2.....	37
4.4 Análisis Comparativo Técnico.....	46
4.5 Análisis Comparativo Energético.....	53
4.6 Análisis Comparativo Económico.....	54
5. Evaluación y Factibilidad Técnico-Económica.....	57

5.1 Criterios de Evaluación.....	57
5.2 Estudio de Mercado.....	57
5.3 Análisis Financiero.....	60
5.4 Análisis Costo-Beneficio (VPN).....	63
6. Resultados.....	69
7. Sugerencias a las Propuestas.....	72
8. Conclusiones.....	73
9. Perspectivas.....	74
10.Referentes Bibliográficos.....	75

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>TABLA</b>	<b>PÁG.</b>
Tabla 1. Clasificación de los Contaminantes Presentes en el Agua.....	12
Tabla 2. Límites Permisibles de Características Bacteriológicas.....	14
Tabla 3. Límites Permisibles de Características Físicas y Organolépticas.....	15
Tabla 4. Límites Permisibles de Características Químicas.....	16
Tabla 5. Límites Permisibles de Características Radiactivas.....	18
Tabla 6. Tecnologías para el Tratamiento de Agua Residual.....	19
Tabla 7. Descripción y Caracterización del Agua Química Residual .....	21
Tabla 8. Osmosis Inversa.....	30
Tabla 9. Análisis Técnico Comparativo.....	46
Tabla 10. Análisis Energético. ....	53
Tabla 11 Análisis Comparativo Económico. ....	54
Tabla 12 Póliza de Mantenimiento. ....	56
Tabla 13 Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2009.....	59
Tabla 14. Estado de Resultados Propuesta 1.....	65
Tabla 15. Estado de Resultados Propuesta 2.....	66
Tabla 16. Resultado en Tecnología (Parámetros de salida del agua ya tratada).....	69
Tabla 17. Costo por Inversión Total (Costo por equipos, póliza de mantenimiento).....	70
Tabla 18. Resultado de Valor Presente Neto (PVN) de Propuesta 1 y 2.....	71
Tabla 19. Resultado Energético Total.....	71

## INDICE DE FIGURAS

<b>FIGURA</b>	<b>PÁG.</b>
Figura 1. Diagrama de flujo de la propuesta .....	22
Figura 2. Electro ionización.....	23
Figura 3. DAF (Propuesta 1).....	24
Figura 4. Ultrafiltración.....	25
Figura 5. Diagrama de Ingeniería Básica: Propuesta 1.....	27
Figura 6. Diagrama de flujo de la propuesta 2.....	32
Figura 7. DAF (Propuesta 2).....	33
Figura 8. Diagrama de Ingeniería Básica: Propuesta 2.....	38
Figura 9. Caudal Potabilizado Municipal.....	58
Figura 10. Estructuras Tarifarias Comunes en México: Bloque incremental con parte.....	61
Figura 11. Estructuras Tarifarias Comunes en México: Bloque incremental con parte fija y volumen mínimo.....	61
Figura 12. Estructuras Tarifarias Comunes en México: Cuota fija.....	62
Figura 13. Recaudación de la Conagua por el cobro de derechos, 1983-2009.....	62

## 1. RESUMEN

Actualmente las empresas deben de ser sustentables y socialmente responsables debido a que el sector químico industrial tiene múltiples relaciones con la sociedad y el entorno que lo rodea. De tal manera que las empresas tienden a tener una buena imagen ante la misma.

Las plantas industriales consecutivamente buscan la manera de reducir costos de producción y ser más competitivos; adicionalmente se busca cumplir con la normatividad en materia de descarga de aguas residuales. Sin embargo buscando la mejor tecnología se trata de tener cero descargas y aprovechar el agua residual para potabilizar cumpliendo con la NOM-127-SSA1-1994.

En este trabajo se presenta la evaluación de las tecnologías: Electro-ionización y Físico-química, buscando tener la más eficiente, robusta y con el menor costo operacional. Teniendo como objetivos exponer una ingeniería adecuada para dar alternativas a seleccionar para un planta de tratamiento de agua química residual acorde a sus necesidades actuales y finalmente elegir la ideal, que cumplirá con las expectativas (normatividad, diseño, robustez y costo por inversión y mantenimiento).

Para dicha evaluación, se presenta una breve caracterización del agua a tratar, descripción e ingeniería básica de la propuesta 1 y 2, tablas comparativas de: tecnologías y etapas de tratamiento, consumo energético e inversión neta. Por consiguiente a esta evaluación se muestran los resultados, concluyendo que la propuesta 1 es la ideal; cumpliendo con los objetivos a alcanzar del presente trabajo con algunas sugerencias y perspectivas al mismo.

## 2. INTRODUCCIÓN

El aumento de la población, la diversidad y la complejidad de los procesos industriales así como la necesidad de producir satisfactores y elementos de consumo en gran escala han incrementado considerablemente la utilización del agua. La contaminación del agua es causada por numerosas sustancias químicas, muchas de ellas tóxicas, que son vertidas en el ambiente por los sectores industriales que demandan mayores volúmenes.

Las aguas residuales son conducidas a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) donde se realiza la remoción de los contaminantes, a través de métodos biológicos o fisicoquímicos. La salida (efluente) del sistema de tratamiento es conocida como agua residual tratada.

En la actualidad, se reconoce que el tratamiento interno en las industrias no asegura la ausencia de contaminantes químicos permitidos en la norma mexicana para ser arrojados al desagüe o funcionar como empresas sustentables. Resulta, pues, evidente, y más en países como el nuestro que se enfrentan a una creciente escasez de agua, la necesidad de enfoques globales respecto a su rehusó. Una buena medida para la disminución de su consumo indiscriminado consiste en recurrir a la reutilización de aguas residuales con calidad de la NOM-127-SSA1-1994.

El presente trabajo presenta una evaluación técnico - económica para una industria química y así poder elegir un sistema de tratamiento para agua residual acorde a las necesidades de la misma. La empresa originaria de este proyecto es sustentable y socialmente responsable que cuyo objetivo es tener un sistema cero descargas, lo cual implica seleccionar el tratamiento más eficiente en tecnología, robustez (contemplando un incremento en la demanda de agua a tratar) , diseño y mantenimiento operativo, ya que la implementación de este sistema en dicha o cualquier empresa implica dejar de solventar gastos tales como: reciclagua (agua pre tratada pero con calidad de la NOM-003), abastecimiento de agua de pozo, entre otros; además un gran beneficio con este tipo de sistema de tratamiento es ser

considerada potable apta para consumo humano, en este caso con las características físicas, químicas y organolépticas para ser usada en el proceso industrial.

Se presenta una breve reseña de los antecedentes de la contaminación del agua, para entender este fenómeno y así poder inferir y aplicar la tecnología y sistema de tratamiento adecuado y correspondiente para el agua residual a tratar (potabilizar), es decir cumplir con los parámetros de salida correspondientes a la NOM-127-SSA1-1994.

Por consiguiente para poder evaluar un sistema PTAR, se deben de tener criterios de evaluación, este trabajo muestra criterios económicos (VPN, costo energético e inversión total), técnicos (tratamiento físico y químico para agua residual química), ingeniería básica.

Para poder elegir uno de los dos sistemas PTAR expuestos fue necesario realizar análisis comparativos (energéticos, técnicos, factibles y económicos), lo cuales demuestran la opción más viable y factible. Como resultado de estos análisis provenientes de los criterios de selección y evaluación, se eligió una de las propuestas; presentando además algunas observaciones y sugerencias para trabajos posteriores

### 3. ANTECEDENTES

#### 3.1 Contaminación Física, Química y Biológica del Agua

El agua que encontramos en la naturaleza lleva disueltas, o en suspensión, determinadas sustancias adquiridas a lo largo del recorrido de parte de su ciclo, en la superficie o en el interior de la Tierra. Pero, además de los compuestos de origen natural, existen otros que tienen su origen en sustancias de desecho producidas como consecuencia de la actividad humana, bien arrojadas directamente al agua, o usándola como vehículo para eliminar productos molestos.

La contaminación del agua es la incorporación de materias extrañas, como microorganismos, productos químicos, residuos industriales y de otros tipos, o aguas residuales. Estas materias deterioran la calidad del agua y la hacen inútil para los usos pretendidos. Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías: (1) químicos, (2) físicos y (3) biológicos. Los contaminantes químicos comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. [17]

El aspecto fundamental resultante de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución de oxígeno como resultante de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos. En el caso de la contaminación derivada de la presencia de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que la disminución en oxígeno

Los iones de metales pesados, tóxicos para los seres humanos, son importantes contaminantes de este grupo; se presentan en las aguas residuales industriales resultado de las operaciones de tratamiento de superficies, así como de las industrias de fabricación de pigmentos y pinturas. [21]

Algunos contaminantes físicos incluyen: cambios térmicos (contaminación térmica). Es el caso de aguas procedentes de plantas industriales, relativamente calientes después de haber sido utilizadas en los intercambiadores (enfriadores); el color por ejemplo, los licores negros que se descargan procedentes de las plantas de fabricación

de pasta química; turbidez (originada por la descarga de aguas que contienen sólidos en suspensión; espumas (detergentes tales como sulfonato de alquibenceno.

Los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de abastecimiento. Algunas de las enfermedades que se transmiten por contaminación biológica son el cólera, las tifoideas, paratifoideas, entre otras. La tabla 1 muestra la clasificación de los contaminantes presentes en el agua.

<b>Tabla 1. Clasificación de los contaminantes presentes en el agua</b>	
<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Características</b>
<b>Físicos o Sólidos</b>	Pueden ser de origen natural o producto de la actividad humana, entre los que se encuentran: piedras, basura, aceites, espumas y calor, estos afectan el aspecto del agua e interfieren con la vida animal, reducen la penetración de la luz, lo que provoca la disminución de la fotosíntesis de las plantas acuáticas, reduciendo el oxígeno necesario para la vida acuática, e incluso puede producir mal olor.
<b>Químicos</b>	Pueden ser de origen orgánico o inorgánico. Los primeros provienen por lo general, de desechos domésticos, agrícolas o industriales y pueden ser sustancias ácidas, básicas y gases tóxicos disueltos. Todo esto causa en el agua mal olor, mal sabor y depósitos indeseables. De entre los contaminantes químicos inorgánicos presentes en el agua están los iones de plomo, mercurio y cadmio, los cuales se pueden acumular a lo largo de la cadena alimenticia; son tóxicos aun en pequeñas cantidades, producen envenenamiento dañando al sistema nervioso, los riñones y el hígado, provocan retraso mental e incluso la muerte.
	Son las bacterias, hongos, virus, algas y todo tipo de

<b>Biológicos</b>	plantas acuáticas indeseables. Estos crecen sin control, utilizan el oxígeno disuelto en el agua y producen enfermedades como la diarrea y la tifoidea, entre otras, por lo que para evitar su presencia se recomienda hervir al menos durante quince minutos.
-------------------	--

(Fuente: Rico G. A, 2012)

Más de mil millones de personas en el mundo no tienen acceso a agua potable. Para el fin del siglo se estima que un 80% de los habitantes urbanos de la Tierra no dispongan de suministros adecuados de agua potable. Sólo una pequeña cantidad del agua dulce del planeta (aproximadamente el 0,008%) está actualmente disponible para el consumo humano. Un 70% de la misma se destina a la agricultura, un 23% a la industria y sólo un 8% al consumo doméstico. [22]

Las características de las aguas residuales industriales pueden diferir mucho tanto dentro de cómo entre las empresas. El impacto de los vertidos industriales depende no sólo de sus características comunes, como la demanda bioquímica de oxígeno, sino también de su contenido en sustancias orgánicas e inorgánicas específicas. Hay tres opciones (que no son mutuamente excluyentes) para controlar los vertidos industriales. El control puede tener lugar allí donde se generan dentro de la planta; las aguas pueden tratarse previamente y descargarse en el sistema de depuración urbana; o pueden depurarse por completo en la planta y ser reutilizadas o vertidas sin más en corrientes o masas de agua.

### 3.2 Normatividad (NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-127-SSA1-1994)

Al margen un sello con el Escudo Nacional, que dice: Estados Unidos Mexicanos.-  
Secretaría de Salud. 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 POTABILIZACIÓN".

Esta Norma Oficial Mexicana establece los límites permisibles de calidad y los tratamientos de potabilización del agua para uso y consumo humano, que deben cumplir los sistemas de abastecimiento públicos y privados o cualquier persona física o moral que la distribuya, en todo el territorio nacional.

#### Límites Permisibles de Calidad del Agua

##### 3.2.1 Límites Permisibles de Características Bacteriológicas

El contenido de organismos resultante del examen de una muestra simple de agua, debe ajustarse a lo establecido en la Tabla 2. Bajo situaciones de emergencia, las autoridades competentes deben establecer los agentes biológicos nocivos a la salud a investigar.

<b>Tabla 2. Límites Permisibles de Características Bacteriológicas</b>	
<b>CARACTERÍSTICA</b>	<b>LÍMITE PERMISIBLE</b>
Organismos coliformes totales	2 NMP/100 mL
	2 UFC/100 mL
Organismos coliformes fecales	No detectable NMP/100 mL
	Cero UFC/100 mL

(Fuente: NOM-127-SSA1-1994)

Los resultados de los exámenes bacteriológicos se deben reportar en unidades de NMP/100 mL (número más probable por 100 mL), si se utiliza la técnica del número más probable o UFC/100 mL (unidades formadoras de colonias por 100 mL), si se utiliza la técnica de filtración por membrana.

### 3.2.2 Límites permisibles de Características Físicas y Organolépticas

Las características físicas y organolépticas deberán ajustarse a lo establecido en la Tabla 3.

<b>Tabla 3. Límites Permisibles de Características Físicas y Organolépticas</b>	
<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
<b>Color</b>	20 unidades de color verdadero en la escala de platino-cobalto.
<b>Olor y sabor</b>	Agradable (se aceptarán aquellos que sean tolerables para la mayoría de los consumidores, siempre que no sean resultados de condiciones objetables desde el punto de vista biológico o químico).
<b>Turbiedad</b>	5 unidades de turbiedad nefelometrías (NTU) o su equivalente en otro método.

(Fuente: NOM-127-SSA1-1994)

### 3.2.3 Límites Permisibles de Características Químicas

El contenido de constituyentes químicos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 4. Los límites se expresan en mg/l, excepto cuando se indique otra unidad.

<b>Tabla 4. Límites Permisibles de Características Químicas</b>	
<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Aluminio	0.20
Arsénico	0.05
Bario	0.70
Cadmio	0.005
Cianuros (como $CN^-$ )	0.07
Cloro residual libre	0.2-1.50
Cloruros (como $Cl^-$ )	250.00
Cobre	2.00
Cromo total	0.05
Dureza total (como $CaCO_3$ )	500.00
Fenoles o compuestos Fenólicos	0.001
Hierro	0.30
Fluoruros (como $F^-$ )	1.50
Manganeso	0.15
Mercurio	0.001
Nitratos (como N)	10.00
Nitritos (como N)	0.05
Nitrógeno amoniacal (como N)	0.50
pH (potencial de	6.5-8.5

hidrógeno) en unidades de pH	
Plaguicidas en microgramos/L: Aldrín y dieldrín (separados o combinados)	0.03
Clordano (total de isómeros)	0.30
DDT (total de isómeros)	1.00
Gamma-HCH (lindano)	2.00
Hexaclorobenceno	0.01
Heptacoloro y epóxido de Heptacoloro	0.03
Metoxicloro	20.00
2,4 – D	50.00
Plomo	0.025
Sodio	200.00
Sólidos disueltos totales	1000.00
Sulfatos (como $SO_4$ )	400.00
Sustancias activas al azul de metileno (SAAM)	0.50
Trihalometanos totales	0.20
Zinc	5.00

(Fuente: NOM-127-SSA1-1994)

Los límites permisibles de metales se refieren a su concentración total en el agua, la cual incluye los suspendidos y los disueltos.

### 3.2.4 Límites Permisibles de Características Radiactivas

El contenido de constituyentes radiactivos deberá ajustarse a lo establecido en la Tabla 5. Los límites se expresan en Bq/L (Becquerel por litro).

<b>Tabla 5. Límites Permisibles de Características Radiactivas</b>	
<b>Radiactivas</b>	
<b>CARACTERISTICA</b>	<b>LIMITE PERMISIBLE</b>
Radiactividad alfa global	0.1
Radiactividad beta global	1.0

(Fuente: NOM-127-SSA1-1994)

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

Se deben aplicar los tratamientos específicos siguientes o los que resulten de las pruebas de tratabilidad, cuando los contaminantes biológicos, las características físicas y los constituyentes químicos del agua enlistados a continuación, excedan los límites permisibles establecidos en el apartado 4.

### 3.3 Tecnologías para el Tratamiento de Agua Residual

La contaminación urbana está formada por las aguas residuales de los hogares y los establecimientos comerciales. Los principales métodos de tratamiento de las aguas residuales urbanas tienen tres fases: el tratamiento primario, que incluye la eliminación de arenillas, la filtración, el molido, la floculación (agregación de los sólidos) y la sedimentación; el tratamiento secundario, que implica la oxidación de la materia orgánica disuelta por medio de cieno biológicamente activo, que seguidamente es filtrado; y el tratamiento terciario, en el que se emplean métodos biológicos avanzados para la eliminación del nitrógeno y métodos físicos y químicos, tales como la filtración granular y la adsorción por carbono activado.

La manipulación y eliminación de los residuos sólidos representa entre un 25 y un 50% del capital y los costes operativos de una planta. La tabla 6 muestra las diferentes tecnologías aplicables al tipo de contaminante.

<b>Tabla 6. Tecnologías para el Tratamiento de Agua Residual</b>	
<b>TIPO DE CONTAMINACIÓN</b>	<b>TIPO DE TECNOLOGÍA APLICABLE</b>
Contaminación biológica (Bacterias, helmintos, protozoarios y virus)	Desinfección con cloro, compuestos de cloro, ozono o luz ultravioleta
Contaminación físicas y organolépticas (Color, olor, sabor y turbiedad)	Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos, adsorción en carbón activado u oxidación.
Contaminación por constituyentes químicos	
Arsénico	Coagulación-floculación-precipitación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos intercambio iónico u ósmosis inversa
Aluminio, Bario, Cadmio, Cianuros, Cobre, Cromo Total y Plomo	Intercambio iónico u ósmosis inversa o destilación
Dureza	Ablandamiento químico o intercambio iónico
Fenoles o compuestos fenólicos	Adsorción en carbón activado u oxidación con ozono
Fierro y/o manganeso	Oxidación-filtración, intercambio iónico u ósmosis inversa
Fluoruros	Ósmosis inversa o coagulación química
Materia orgánica	Oxidación-filtración o adsorción en

	carbón activado
Mercurio	coagulación-floculación-precipitación-filtración, cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/L. Procesos especiales: en carbón activado granular y ósmosis inversa cuando la fuente de abastecimiento contenga hasta 10 microgramos/L; con carbón activado en polvo cuando la fuente de abastecimiento contenga más de 10 microgramos/L
Nitratos y nitritos	Intercambio iónico o coagulación-floculación-sedimentación-filtración; cualquiera o la combinación de ellos
Nitrógeno amoniacal	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración, desgasificación o desorción en columna
pH (potencial de hidrógeno)	Neutralización
Plaguicidas	Adsorción en carbón activado granular
Sodio	Intercambio iónico
Sólidos disueltos totales	Coagulación-floculación-sedimentación-filtración y/o intercambio iónico.
Sulfatos	Intercambio iónico u ósmosis inversa.
Sustancias activas al azul de metileno	Adsorción en carbón activado
Trihalometanos	Aireación u oxidación con ozono y adsorción en carbón activado granular
Zinc	Destilación o intercambio iónico

(Fuente: NOM-127-SSA1-1994)

#### 4. DESCRIPCIÓN DE PROPUESTAS

##### 4.1 Descripción y Caracterización del Agua Química Residual a tratar.

El agua química residual a tratar proviene de industria de adhesivos. La tabla 7 muestra los parámetros a medir del agua cruda (agua química residual).

<b>Tabla 7. Descripción y Caracterización del Agua Química Residual</b>				
<b>Tipo de Agua</b>	<b>pH</b>	<b>Olor</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
Cruda	(6.3-7.6)	Desagradable	600-850	11500-15000
<b>Tipo de agua</b>	<b>DQO (mg/L)</b>	<b>DBO (mg/L)</b>	<b>SST (mg/L)</b>	
Cruda	17000-24500	17000-24500	17000-24500	

Con el fin de tener un sistema cerrado cero descargas (PTAR) y potabilizar el agua cumpliendo con la NOM-127, se tienen dos propuestas a evaluar para seleccionar la mejor.

A continuación se presenta la descripción de la propuesta 1 y 2 respectivamente.

#### 4.2 Propuesta 1: Tratamiento Electro-ionización, Floculación por Aire Disuelto (DAF), Ultrafiltración (UF), Ozono y Osmosis Inversa (OI) para un Sistema de Agua Potable de 100 m<sup>3</sup>/ día

La figura muestra el diagrama de flujo general de la propuesta 1:

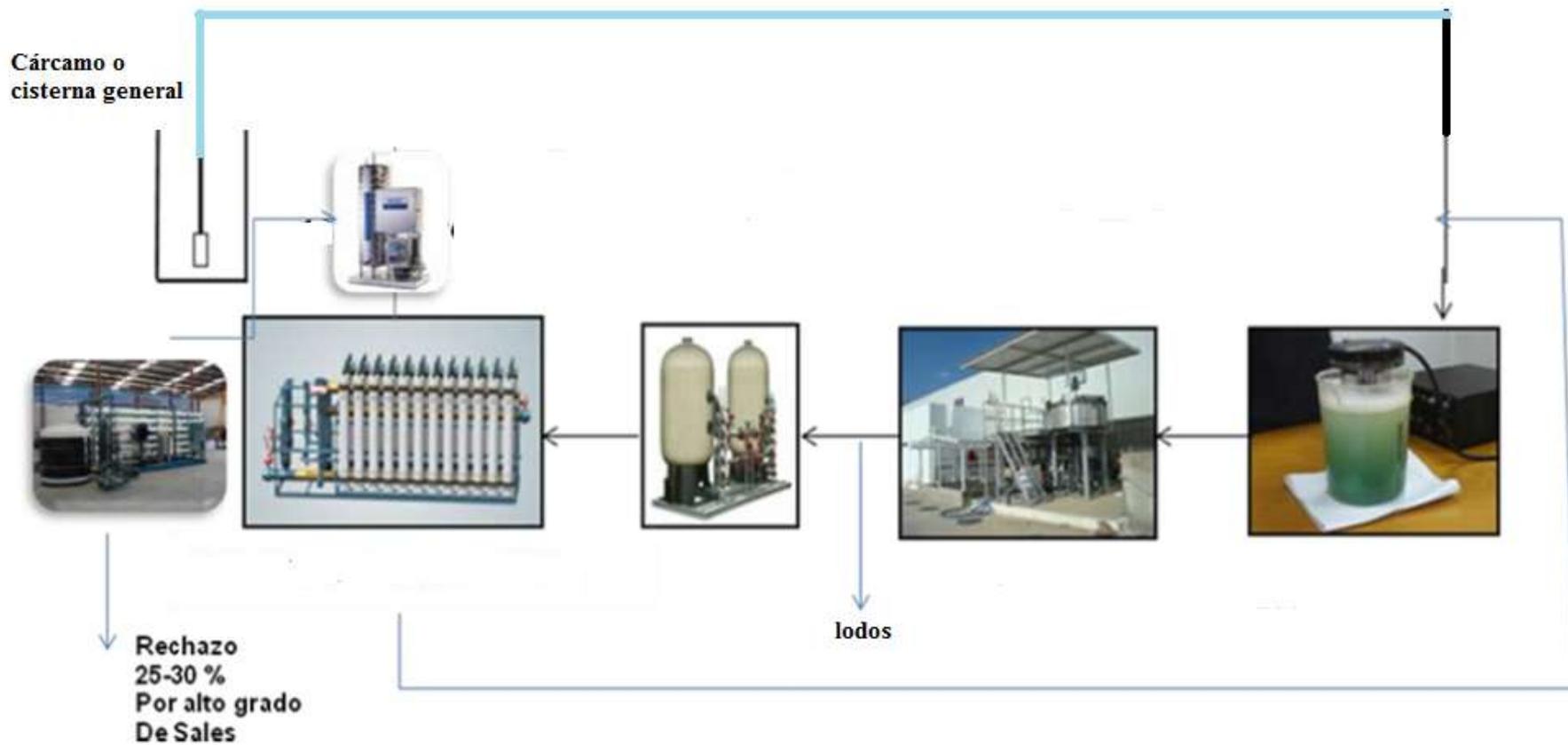


Figura 1. Diagrama de flujo de la propuesta

En la propuesta 1 el sistema PTAR (planta de tratamiento de agua residual) consiste en la tecnología de Electro-ionización, Floculación por Aire Disuelto (DAF), Filtración, Ultrafiltración (UF), Osmosis Inversa (OI) en caso de alta conductividad y Generación de Ozono, para tener el re-uso del 100% de agua.[27]

El proceso comienza del tanque de homogenización, de ahí se rebombea al sistema de electro-ionización de alto impacto con un tiempo de retención de 20 min, posteriormente se envía a otro tanque de re bombeo para entrar al DAF para de esa manera comenzar el proceso de separación a través de micro burbujas y extraer el agua limpia lista para alimentar a sistema de filtración y posteriormente a la UF, de ahí si el agua cumple el permisivo de conductividad ( 98.5% de remoción ) esta se enviará al generador de ozono y si no fuera el caso se enviaría directo a la osmosis inversa y de ahí al generador de ozono. Para los lodos se usa un fitro prensa

### **Etapa 1. Sistema Electro-ionización de Alto Impacto**

En esta etapa se logra romper las moléculas presentes en el agua residual y de ahí agrupar los iones positivos y negativos con la ayuda de coagulantes teniendo un periodo de espera para esta separación. Teniendo como objetivo de este proceso la separación del agua con la materia completamente agrupada, misma que irá al proceso de Floculación por Aire Disuelto (DAF). [27]



Figura 2. Electroionización

## **Etapa 2: Floculación por Aire Disuelto (DAF)**

En este paso el agua obtenida después del proceso de Electro-ionización se deposita en el DAF, que consiste en una Floculación por medio de Micro-burbujas homogéneas, que hacen que los lodos floten en un tiempo aproximado de 3 minutos para que de ahí sean recogidos por el cucharón del DAF y depositados en un lecho de secado. Obteniendo el agua clara por la parte baja del proceso.[25] y [27]

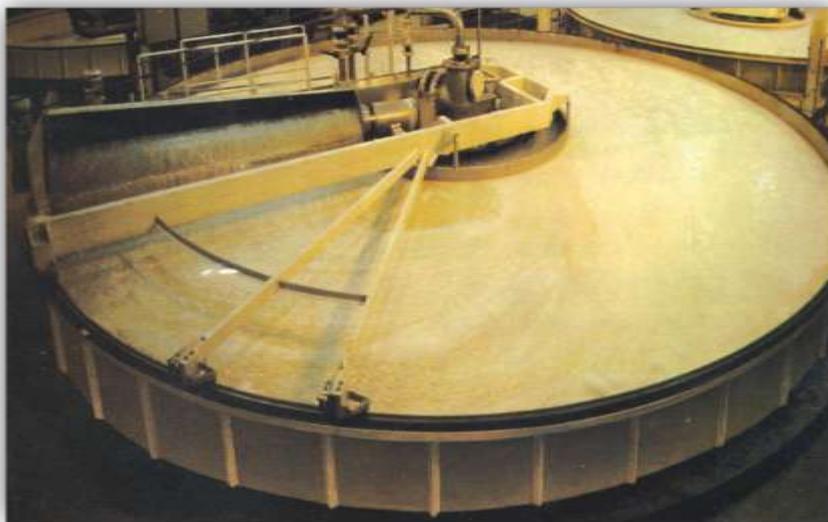


Figura 3. DAF (Propuesta 1)

**Tratamiento de Lodos:** Los lodos generados en el DAF serán conducidos a un filtro prensa para extraerles la mayor cantidad de agua y así ser desechados como relleno sanitario.

## **Etapa 3. Sistema de Filtración**

Esta etapa del proceso se compone por un sistema de filtración, es importante mencionar que la presencia de los filtros no es con el objeto de eliminar sólidos, sino más bien cumplen el objeto de reducir cargas orgánicas e inorgánicas del agua tratada.[27]

#### **Etapa 4: Ultrafiltración (UF)**

El principio de la ultrafiltración es la separación física. El tamaño de poro de la membrana es lo que determina hasta qué punto son eliminados los sólidos suspendidos, la turbidez y los microorganismos. Las sustancias de mayor tamaño que los poros de la membrana son retenidas totalmente. Las sustancias que son más pequeñas que los poros de la membrana son retenidas parcialmente, dependiendo de la construcción de una capa de rechazo en la membrana.

Las membranas usadas para la ultrafiltración tienen un tamaño de poro de  $0.03\ \mu\text{m}$ . Estas membranas de UF retienen todas las bacterias. Parte de la contaminación viral es atrapada en el proceso, a pesar de que en algunos casos los virus sean más pequeños que los poros de la membrana. Esto es porque los virus se pueden acoplar a las bacterias. La ultrafiltración puede ser aplicada a muchos tipos diferentes de tratamientos de agua cuando se necesita retirar de un líquido las partículas de un diámetro superior a  $0.03\ \mu\text{m}$ . [27]



Figura 4. Ultrafiltración

### **Etapa 5. Generador de ozono**

El ozono en agua es el oxidante natural más rápido y efectivo que existe tiene un alto poder bactericida, virulizida y fungicida, destruye los microorganismos rompiendo por oxidación su capa protectora (lípidos), el ozono en agua es 12 veces más soluble que el oxígeno, los productos químicos actúan por envenenamiento enzimático de los centros vitales, por lo que el ozono resulta ser miles de veces más rápido que los productos químicos. Este equipo tendrá la función de reducir y/o eliminar considerablemente la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO), Demanda Química de Oxígeno (DQO), Grasas y Aceites presentes en el agua producida por el DAF.[26]

### **Etapa 6. Osmosis Inversa**

Esta etapa concentrará los contaminantes en una corriente de desechos la cual será descargada al drenaje municipal o reutilizada para el retro lavado de equipos, para cumplir consistentemente con los límites de descarga requeridos, considerando una Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) actual de 150 mg /L. La DBO debe limitarse a un máximo de 60 mg /L.). Se recomienda que el sistema se diseñe para alcanzar un límite de DBO de 30 mg /L, lo que se traducirá en una Demanda Química de Oxígeno (DQO) de alrededor de 60 a 75 mg /L. [27]

### **Etapa 7. Arranque y capacitación**

Se considera el arranque y puesta en marcha del sistema aquí propuesto. Se dará una capacitación del funcionamiento general de los equipos al personal que operará la planta además de un manual de operación y mantenimiento en CD.

#### **4.2.1 Ingeniería Básica para Propuesta 1**

En la ingeniería básica de la propuesta 1 se muestra más a detalle lo que implica la propuesta técnica en cada etapa siguiendo el diagrama de flujo como se muestra a continuación en la figura 5:

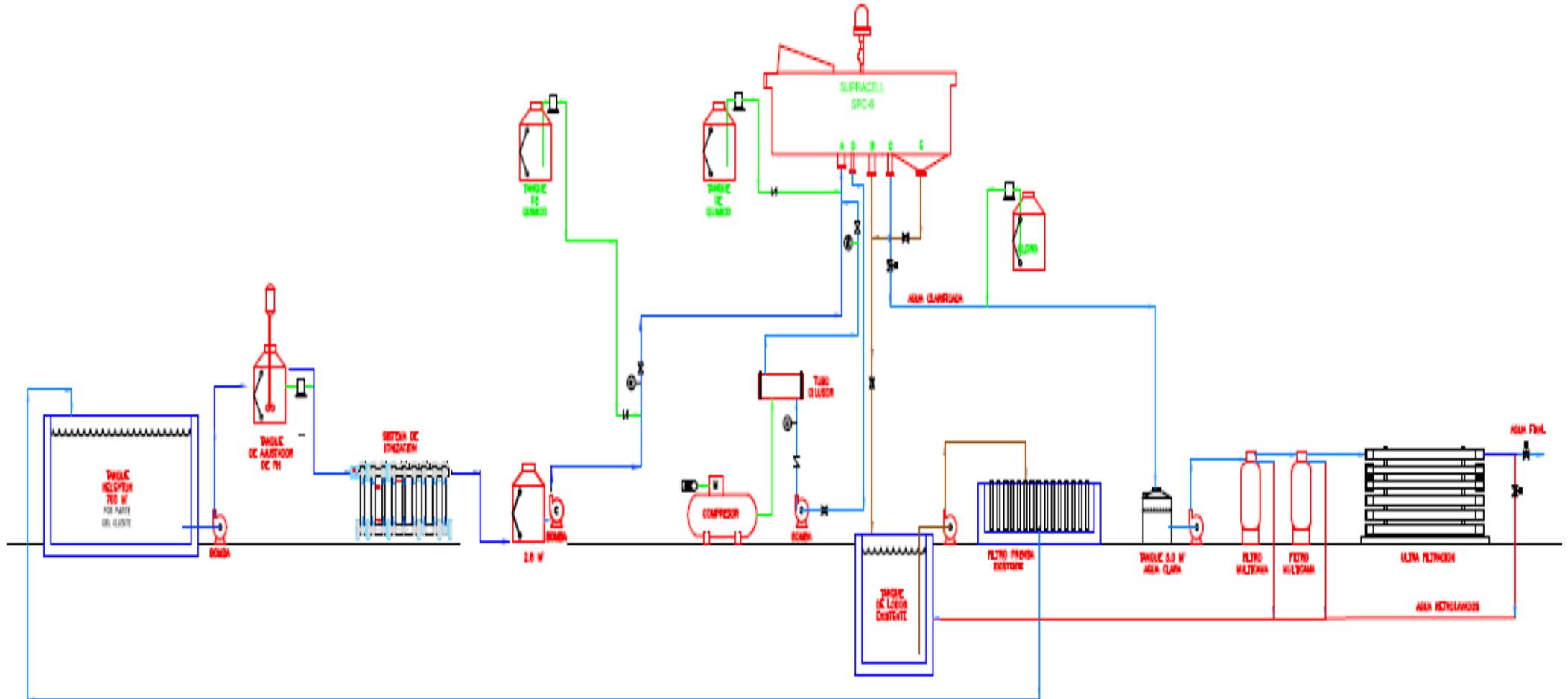


Figura 5. Diagrama de Ingeniería Básica: Propuesta 1

### **Etapa 1. Sistema electro-ionización de alto impacto:**

**a) Bombeo inicial a la electro ionización:** Se instalará una bomba sumergible del tipo inatascable de 1 HP para mandar y regular el flujo que entra al sistema de electro ionización

**b) Sistema de electro-ionización de alto impacto:** El sistema empieza con un tanque de ajuste de pH y conductividad para acondicionar el agua a la electro ionización. Este equipo consta de un tanque de polipropileno de alta densidad con dimensiones de 2.5 m de largo x 1.2 m de ancho x 1.6 m de profundidad, de forma rectangular. En este tanque se alberga el sistema de electrodos con los cuales se lograrán varios objetivos como son:

1. Desemulsificación de las grasas y aceites
2. Rompimiento de enlaces moleculares y separación de coloides
3. Reducción de la Demanda Química de Oxígeno (DQO)
4. Reducción de nitrógeno, fenoles, sólidos suspendidos y disueltos

**c) Tanque de almacenamiento y rebombeo :** El agua proveniente del sistema de electro ionización de alto impacto se descargará en un tanque de 2,500 litros para ser re bombeado a flujo controlado al clarificador Krofta. Este tanque estará equipado con una bomba sumergible de 1 HP tipo inatascable.

**d) Sistema de dosificación de químicos:** El agua bombeada del resultado de la ionización viene ya en condiciones de ser separada, de hecho el agua viene ya parcialmente clarificada y con alta tasa de concentración de sólidos (> a 14,000 mg/L) para poder coagular y flocular los sólidos se usan dos polímeros, uno aniónico y otro catiónico, para ello se utilizan unos tanques de mezclado y preparación de los polímeros, unos tanques de almacenamiento y unas bombas de dosificación.

### **Etapa 2. Floculación por Aire Disuelto (DAF)**

**a) Sistema de clarificación y separación de sólidos:** El equipo utilizado para este proceso será un clarificador KROFTA SPC-6 está diseñado para separar los sólidos del agua por medio de la flotación de millones de micro burbujas, las cuales se adhieren al sólido floculado y los levanta (flota) en un lapso de

tres minutos. El cucharón en la superficie gira constantemente recogiendo los lodos flotados y el agua clarificada en el fondo del tanque saldrá limpia por la parte inferior de la tina. De los sólidos suspendidos totales de influente (10,300 mg/L) el agua tendrá una descarga < de 14 mg/L. esto equivale a una eficiencia de 99.85% de remoción

**b) Tanque de rebombeo a filtros:** El agua clarificada en el DAF Krofta descargará en un tanque de almacenamiento y re bombeo de 2500 L. Esto, porque habrá que pasar el agua por los filtros a una presión mayor a 1.5 kg/cm<sup>2</sup>.

**c) Tratamiento de lodos:** se conducirá el flujo de lodos a una prensa automática de filtro (1) M.W. WATERMARK, MODELO FP1000G32-100-25/40S

1. Aplicación: De Aguas Residuales
2. Temperatura: 95° F.
3. Capacidad de prensa: 110 kg/ día ampliable a 140
4. N° aproximado de placas: 24 ampliable a 31
5. Dimensiones aproximadas: 168"X 55 "x 65"

#### **Descripción del equipo:**

- a. Tamaño de la placa: 800mm x 800mm
- b. Hidráulica: Diseño modular, aire sobre hidráulico de cierre automático.
- c. Placas del filtro: De Polipropileno, selladas y rebajadas (32 mm de espesor).
- d. Telas de filtro: Multi-filamento de polipropileno instalado

#### **Etapa 3. Sistema de Filtración**

**a) Filtración final y reducción de valores contaminantes:** El material relleno de los filtros está compuesto de minerales capaces de remover valores como la DQO, nitrógeno, fosforo, etc.

#### **Etapa 4. Sistema de Ultrafiltración (UF)**

Después de la filtración el flujo es bombeado al sistema de ultrafiltración. Las membranas usadas para la ultrafiltración tienen un tamaño de poro de 0.03  $\mu\text{m}$ .

### Etapa 5. Generador de ozono

Sistema de ozonización con oxígeno concentrador integral capaz de inyectar un mínimo de 0.5 a 1 mg / L de ozono disuelto en un caudal máximo de 28 gpm.

### Etapa 6. Osmosis Inversa (OI)

Se instalará un permisivo en el PLC (Controlador Lógico Programable: el cual permite controlar automáticamente el funcionamiento del sistema y medir en tiempo real las variables de calidad del agua producida; asegurando el cumplimiento de los criterios de calidad) , en el cual si la conductividad es  $>$  a 1,000 microsiemens se abrirá la válvula para entrar al sistema OI. Si es  $<$  1,000 microsiemens el flujo se dirigirá a la cisterna. La tabla 9 muestra una descripción más detallada de la etapa 7 osmosis inversa.

<b>Tabla 8. Osmosis Inversa</b>	
<b>DISEÑO</b>	<b>OSMOSIS INVERSA</b>
Numero de Módulos	Un modulo
Operación	Automático
Producción por modulo	$75\text{m}^3/\text{día}$
Recuperación	75%
Flujo de Alimentación	$100\text{m}^3/\text{día}$
Flujo de Recirculación	$16.35\text{m}^3/\text{día}$

Flujo de Rechazo	41.31m <sup>3</sup> /día
Recipientes primera etapa	3
Recipientes segunda etapa	2
Membranas por recipiente	6
Temperatura de Diseño	20 +- 5° C
Presión de Alimentación	381.55 psi

### **Etapa 7. Arranque y capacitación**

Se considera el arranque y puesta en marcha del sistema aquí propuesto. Se dará una capacitación del funcionamiento general de los equipos al personal que operará la planta además de un manual de operación y mantenimiento en CD.

### 4.3 Propuesta 2: Tratamiento Físico-Químico (Coagulación) para un Sistema de Agua Potable de 100 m<sup>3</sup>/día

La figura muestra el diagrama de flujo general de la propuesta 2:

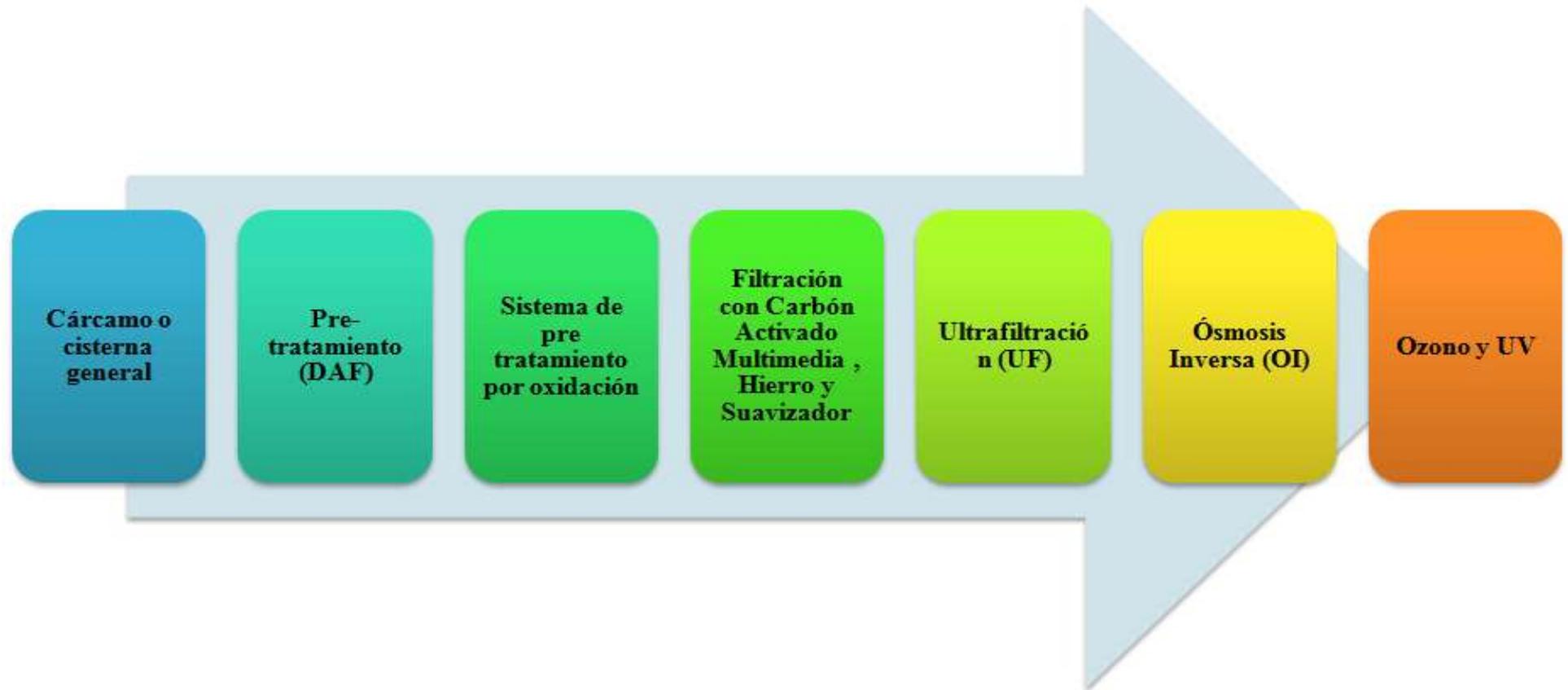


Figura 6. Diagrama de flujo de la propuesta 2

El agua recuperada se trata a los estándares de agua NOM-127, lo que permite mayores tasas de recuperación. El sistema propone tratar el 85% de los efluentes provenientes de la cisterna general de acuerdo a la norma NOM-127, y el 15% restante con la capacidad de poder ser descargado a drenaje excediendo la norma de descarga o ser utilizado para el retro lavado de los equipos en un circuito cerrado. [26]

Mediante el uso de tres tecnologías para filtrar y desinfectar el agua, el sistema AquaPUR™ garantiza la salud y el bienestar de los consumidores. El sistema se basa en la ultrafiltración y la ósmosis inversa para filtrar agentes patógenos y contaminantes del agua tratada. El agua filtrada, que es desprovista del 99,99% de los patógenos y el 99,7% de TDS, se expone entonces a dos tecnologías de desinfección, desinfección ultravioleta (UV) y Ozono. La ozonización se utiliza para eliminar los microorganismos contaminantes que podrían pasar a través de las membranas de ósmosis inversa. La Desinfección UV se utiliza para asegurar que todos los patógenos sean destruidos, incluyendo la giardia y el cryptosporidium. El diseño del proceso de se basa en el cumplimiento con la NOM-127 (agua para consumo humano).

### **Etapas 1. Sistema Pre-tratamiento DAF**

Floculación por Aire Disuelto (DAF): Esta primera etapa está diseñada para la eliminación de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) / Demanda Química de Oxígeno (DQO) / Sólidos Suspendedos Totales (TSS). Los rendimientos de la flotación dependen de la cantidad de DQO y DBO que se encuentren en disolución respecto de la total.[26]



Figura 6. DAF (Propuesta 2)

**a) Tratamiento de Lodos:** Los lodos generados en el DAF serán conducidos a un filtro prensa para extraerles la mayor cantidad de agua y así ser desechados como relleno sanitario debido a las características y parámetros (clase C tipo excelente y bueno en función de su contenido de metales pesados, así como su contenido de parásitos y patógenos, cumpliendo con la norma oficial mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.) con los cuales serán extraídos los mismos del filtro prensa.

## **Etapas 2. Sistema de pre tratamiento por oxidación.**

Se oxida el efluente del DAF para disminuir los niveles de DBO, Sólidos suspendidos totales (TSS), DQO, detergentes, bacterias y virus, fenoles y otros compuestos orgánicos, compuestos nitrogenados, oxidación de metales pesados (Fe, Mn, Etc.).

El ozono reacciona fácilmente con compuestos orgánicos no saturados presentes en las aguas residuales, rompe los anillos y oxida parcialmente compuestos aromáticos. Una vez oxidados los anteriores componentes se remueven en las etapas posteriores de filtrado, ultrafiltración. La desinfección del influente del proceso de potabilización, disminuirá la formación de colonias bacterianas y otros microorganismos dentro de los tanques de filtrado, disminuyendo sensiblemente la incrustación orgánica sobre todo en los procesos posteriores de ultrafiltración y ósmosis inversa. Por ende alargando los periodos entre lavados y alargando la vida de los elementos de ultrafiltración y ósmosis inversa. [26]

Los niveles esperados de oxidación de los siguientes para los parámetros principales de calidad del efluente del DAF. En el caso de la DBO, se oxidará y neutralizará la DBO disuelta, en el caso de la DBO remanente suspendida la degradará a compuestos inertes bajo estas condiciones químicas. La DQO disuelta será oxidada y neutralizada químicamente bajo las condiciones químicas actuales. En el caso de compuestos químicos inorgánicos ya sea metales pesados o metales, serán oxidados con lo que se transforman a compuestos precipitables y removibles mediante otros

procesos de filtración o centrifugación o separación mediante membranas. Las grasas emulsificadas serán oxidadas en este proceso, transformándolas a formas fácilmente removibles ya sea por flotación, filtración o separación. A continuación se estima el valor esperado de acuerdo a la experiencia en operación. Estos valores variaran de acuerdo a la calidad y composición del influente así como a condiciones de pH, temperatura, etc. [25]

- 1.- DBO (disuelta y suspendida): 10-20 mg. /L. después de oxidación
- 2.- DQO: 50-100 mg. /L. después de oxidación (disuelta)
- 3.- Sólidos suspendidos totales: 5-10 mg. /L. (parte de estos sólidos es DBO suspendida)
- 4.- Grasas y Aceites: 80% se oxidara (se evitara la emulsificación de aceites y grasas)
- 5.- Nitrógeno total: 3.0 mg. /L.
- 6.- Fosforo: 5.0 mg. /L.

### **Etapa 3. Filtración con Carbón Activado Multimedia**

Mediante este proceso se removerán partículas suspendidas de 10 micras de diámetro.

### **Etapa 4 Filtro para la Eliminación del Hierro y Suavizador**

El sistema de extracción de hierro puede ser necesario para que el sistema de osmosis inversa funcione consistentemente, los niveles de hierro se deben reducir por debajo de los 0,5 mg / L. El intervalo de estos niveles debe de estar por debajo de los 0.5mg/ L para minimizar el potencial de escalamiento de las membranas de OI. [26]

### **Etapa 5. Ultrafiltración (UF)**

Para eliminar todos los sólidos suspendidos y patógenos, a menos de 0,1 micras; así como para proteger las membranas de la osmosis inversa es recomendable la ultrafiltración (UF). Las Membranas presurizadas de UF Taray, eliminarán prácticamente todas las grasas y aceites, así como todos los sólidos en suspensión, proporcionando un flujo de alimentación confiable para las membranas de OI y una

mejor eficiencia operativa así como menor frecuencia de la limpieza de las membranas.[24]

### **Etapa 6. Ósmosis Inversa (OI)**

La Ósmosis inversa (OI) es la etapa final de la potabilización antes de la etapa de desinfección, esta etapa concentrará los contaminantes en una corriente de desechos la cual será descargada al drenaje municipal o reutilizada para el retro lavado de equipos. Debido a las altas concentraciones de sílice en el agua de alimentación en la entrada del proceso de Ósmosis Inversa la máxima recuperación de agua potable a partir del agua residual estará en el intervalo de entre 65% y 75%. Por consiguiente, para cumplir consistentemente con los límites de descarga requeridos, considerando un DBO actual de 150 mg / L (La DBO debe limitarse a un máximo de 60 mg /L ). El sistema está diseñado para alcanzar un límite de DBO de 30 mg / L, lo que se traducirá en una DQO de alrededor de 60 a 75 mg /L. [25]

### **Etapa 7. Desinfección con Ozono**

Proceso para eliminar el contaminante micro que pasan a través de las membranas de ósmosis inversa, oxidándolos. Sus ventajas son:

- a) se genera in situ, sin necesidad de manipulación de productos químicos
- b) El ozono tiene una vida media corta, después de 30 minutos, se recombina para formar oxígeno, sin dejar rastro alguno en el agua potable [23]

### **Etapa 8. Desinfección UV**

La desinfección UV es para asegurar que todos los patógenos que lograron pasar a través de las membranas de osmosis inversa y ultrafiltración sean completamente eliminados en esta etapa. Los beneficios de este proceso es que proporciona múltiples barreras físicas al proceso para asegurar los agentes patógenos y los contaminantes se eliminen para proteger la salud y la seguridad de los usuarios del agua.

**a) Sistema CIP:** Se sugiere utilizar un equipo CIP (Clean In Place) que es un sistema móvil montado sobre un Skid, para la limpieza periódica de las membranas de UF y de ósmosis inversa.

**Etapa 9. Supervisión de instalación electromecánica, arranque y capacitación:**

Ver detalle en Ingeniería Básica Propuesta 2.[25]

**4.3.1 Ingeniería Básica para Propuesta 2**

En la ingeniería básica de la propuesta 2 se muestra más a detalle lo que implica la propuesta técnica, es decir el detalle de los equipos en cada etapa siguiendo el diagrama de flujo como se muestra a continuación:

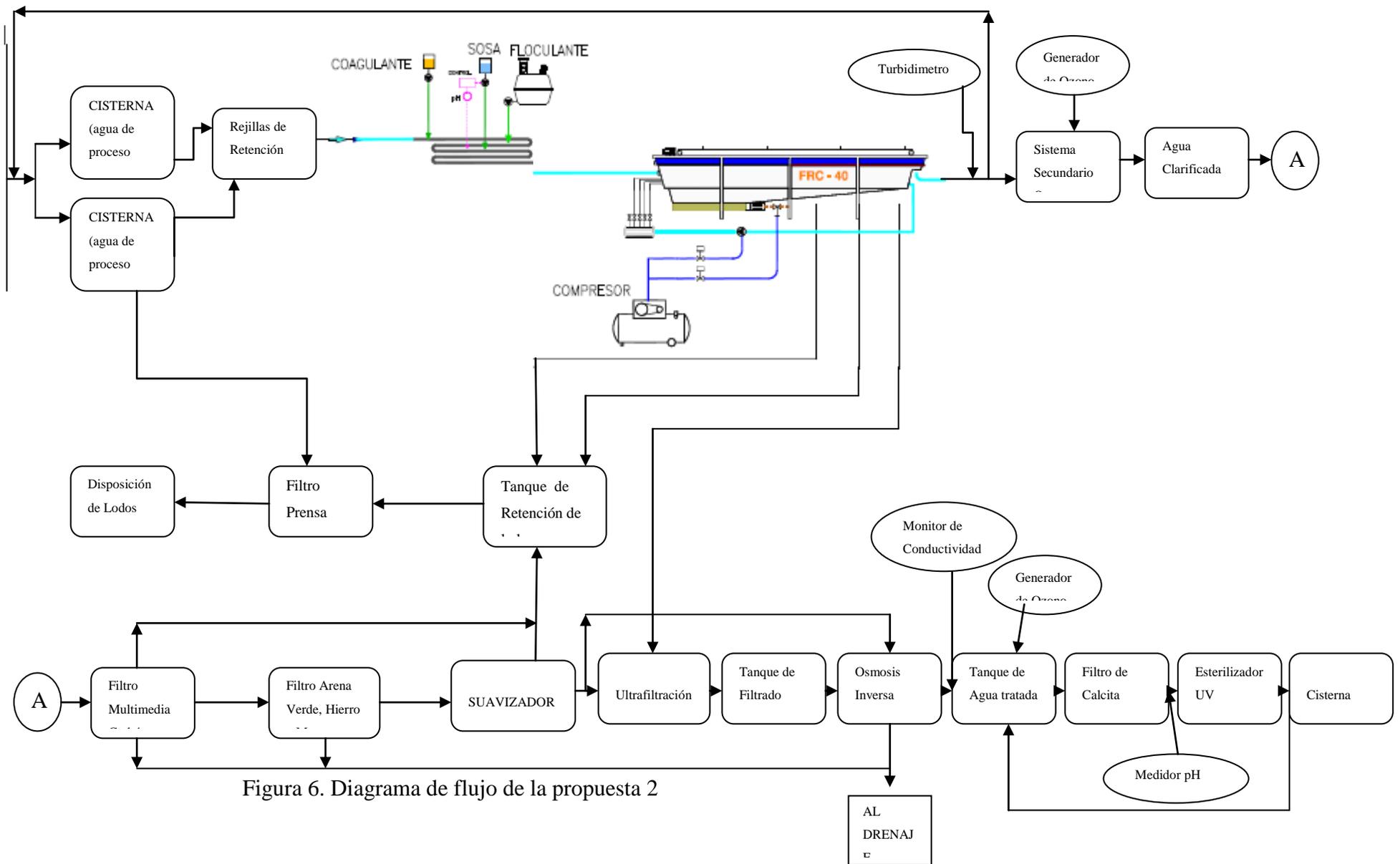


Figura 6. Diagrama de flujo de la propuesta 2

## **Etapa 1. Sistema de Pre-tratamiento**

El sistema empieza en un cárcamo o cisterna general de proceso de 120 m<sup>3</sup> dividido en dos partes cada una con un agitador con el fin de mezclar y homogenizar el agua con características consistentes: pH, Sólidos Suspendidos Totales (TSS), Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) y Demanda Química de Oxígeno (DQO). Las tuberías serán de flujo directo entre la división 1 y 2 del cárcamo con cuatro interruptores para medir niveles de alta y baja en el cárcamo o cisterna general.

### **a) Sistema DAF (Floculación con Aire Disuelto) con dosificación química:**

Después de homogenizar la mezcla de agua química residual la siguiente etapa (DAF) consiste en un tanque de mezclado químico con capacidad de 2000L de acero al carbón con dosificaciones de polímeros coagulantes floculantes.

El sistema dosificará y mezclará automáticamente el agua cruda y los productos químicos para alimentar el sistema DAF en un flujo continuo con los siguientes parámetros de diseño:

- a)** Duración por lote de 6 horas, con 1 hora de puesta en marcha.
- b)** Tamaño de lote, 2000 galones
- c)** Duración de Lote, aproximadamente 55 minutos
- d)** Bomba de transferencia, aproximadamente 20 minutos

Para el tanque de mezcla química:

- a)** Volumen de trabajo 2000 galones.
- b)** Construcción en acero al carbón con recubrimiento epóxido.
- c)** Mezclador, turbina, 3/4HP, 460V, 60Hz, 3 fases, flecha/ impulsor de acero al carbón
- d)** sonda de pH

Para el Tanque de alimentación DAF

- a)** Volumen de trabajo 2000 galones.
- b)** Construcción en acero al carbón con recubrimiento epóxido.
- c)** 1 Mezclador, turbina, 3/4HP, 460V, 60Hz, 3 fases, flecha/ impulsor de acero al carbón
- d)** 1 Sonda de pH
- e)** 2 Interruptores de nivel ultrasónicos

Para el ajuste de pH

- a)** 1 Bomba de diafragma, Caustica.
- b)** 1 Bomba de diafragma, Ácidos.
- c)** Suministrado en bolsas a granel o tambores
- d)** Caustica: 30% de NaOH (por el cliente)
- e)** Ácidos: 30% Sulfúrico o ácido Hidroclórico (por el cliente)

Para la adición de coagulante/ polímero

- a)** 3Bombas de alimentación química de 1/2", Diafragma de aire.
- b)** 1Tanque de mezcla de Coagulante en Polietileno de alta densidad, de 250 galones.
- c)** 2 Tanques de mezcla de polímeros, en Polietileno de alta densidad, de 650 galones
- d)** 6 Interruptores de nivel, ultrasónicos.
- e)** 1 Mezclador de coagulante, 1/2HP, 120V, flecha/impulsor en acero inoxidable 304.
- f)** 2 Mezcladores de Polímero, 3/4HP, 120V, flecha/impulsor en acero inoxidable 304.

## **Etapa 2. Sistema de pre tratamiento por oxidación.**

El efluente proveniente del DAF por medio de bombas de transferencia pasa al sistema de oxidación (Dos tanques de mezclado en paralelo de 2500 L para poder minimizar los cuellos de botella).

**a) Tratamiento de lodos:** se conducirá el flujo de lodos a una prensa automática de filtro (1) M.W. WATERMARK, MODELO FP1000G32-100-25/40S

1. Aplicación: De Aguas Residuales
2. Temperatura: 95°F.
3. Capacidad de prensa: 110 kg/ día ampliable a 140
4. N° aproximado de placas: 24 ampliable a 31
5. Dimensiones aproximadas: 168"X 55 "x 65"

**Descripción del equipo:**

1. Tamaño de la placa: 800mm x 800mm
2. Hidráulica: Diseño modular, aire sobre hidráulico de cierre automático.
3. Placas del filtro: De Polipropileno, selladas y rebajadas (32 mm de espesor).
4. Telas de filtro: Multi-filamento de polipropileno instalado

### **Etapa 3. Filtro Removedor con carbón activado**

El filtro consiste de 3 capas de filtrado las cuales son Arena Sílica # 20, para remoción de sólidos suspendidos, grava #12 en la base del equipo de filtrado, Carbón activado granular para reducción de Nitratos, Cloro libre Residual, sulfatos, Trihalometanos

### **Etapa4. Filtro para la eliminación del hierro y Suavizador**

- a) El filtro removedor tiene como límite 6 partes por millón eliminando fierro y manganeso con un pH no menor a 6.
- b) **Suavizador:** Equipo de suavización de retro lavado automático con válvulas de retro lavado tipo bola controladas desde el PLC (Controlador Lógico Programable: el cual permite controlar automáticamente el funcionamiento del sistema y medir en tiempo real las variables de calidad del agua producida; asegurando el cumplimiento de los criterios de calidad) , con servomotor para control de apertura y cierre, con las siguientes especificaciones:

- 1.- Capacidad: 20 Cu.Ft. Tanque 36x72”
- 2.- Flujo promedio: 150 Gal./min.
- 3.- Flujo máximo 190: Gal./min.
- 4.- Conexión eléctrica: 115 V.
- 5.- Conexión Alim./descarga: 2”
- 6.- Medio Filtrante: Resina IONAC-C-249, Arena #20
- 7.- Consumo de sal por retro lavado: 43.0 Kg.

Los Niveles de SST (Sólidos Suspendidos Totales) deben reducirse a menos de 10 mg /L y a niveles de grasa / aceites a menos de 2 mg /L con el fin de asegurar que el sistema de ultrafiltración funcione correctamente.

### **Etapa 5. Ultrafiltración (UF)**

El sistema de ultrafiltración contendrá tres (3) módulos de UF HFU-2020 cada uno con una calificación de poro nominal de 150.000 Dalton (menos de 0.1 micras) y un área de filtración total de 775 metros cuadrados. Los módulos se distribuyen en un tren y periódicamente se vuelven a lavar con agua limpia filtrado. El agua de lavado se transfiere al depósito de lodo biológico sistema de retención para la retención de sólidos y recirculación / recuperación del agua. Operación del ultra filtro será controlado por válvulas neumáticas. Secuenciación será controlado por el tiempo y la presión diferencial. El filtrado se bombea a través del filtro de arena verde suavizante y opcional para el actual tanque 60 m<sup>3</sup> de almacenamiento de agua tratada una bomba de lavado se incluyen. Una trampa de resina también se incluye para proteger el filtrado UF de la falta de nada interno en el filtro de arena. RO concentrado se usará para lavar a contracorriente a los ultra filtros para maximizar la recuperación de las aguas residuales

El sistema de ultrafiltración tiene un sistema de limpieza integrado a contracorriente, incluido tanque de almacenamiento de agua limpia para lavado y bomba de flujo a contracorriente, así también un tanque de almacenamiento de químicos para limpieza con bomba dosificadora tipo peristáltica. El valor esperado entre ciclos de limpieza es de 1000 horas de operación. Dependiendo de las condiciones del agua de alimentación y el tiempo de operación.

### **Etapa 6. Sistema de Osmosis Inversa (OI)**

El sistema consta de los siguientes componentes:

- a) Configuración:** El sistema de ósmosis inversa está configurado en una matriz de 1:1 con una recirculación para dar cabida a caudales de 75 m<sup>3</sup> por día hasta 120 m<sup>3</sup> por día. Cada recipiente de presión contendrá cinco 5 membranas de Osmosis Inversa.

- b) Recipientes a presión:** Los recipientes a presión son de construcción FRP y están clasificados para 300 psig. Se consideran los recipientes a presión Codeline, modelo 80S30-5.
- c) Bombas de transferencia:** Dos multi-bombas centrífugas grundfos modelo IRC con arranque suave. Las bombas tienen cajas de acero inoxidable 304 con sellos mecánicos. El motor es TEFC. Las bombas están dimensionadas para proporcionar la presión requerida y la tasa de flujo para el funcionamiento adecuado del sistema.
- d) Membranas:** Las membranas que se utilizarán son Toray 8" TML20-400 de bajo ensuciamiento. Estos elementos están diseñados para aplicaciones en aguas salobres (2000 ppm de SDT). Utilizan una sobre envoltura de FRP para apoyar la membrana enrollada en espiral y funcionar a presiones de 200-600 psig. El material de la membrana es compuesto de película delgada de poliamida (TFC).

### **Etapa 7. Desinfección con ozono**

Sistema de ozonización con oxígeno concentrador integral capaz de inyectar un mínimo de 0.5 A 1 mg / L de ozono disuelto en un caudal máximo de 28 gpm. El sistema es autónomo con su propio panel de control para controlar la inyección de ozono y proporciona señales al PLC del sistema de agua potable sobre el estado del concentrador de oxígeno y la bomba de inyección. Se suministra un tanque de contacto de ozono de 5000 litros para proporcionar un tiempo mínimo de contacto de 5 minutos a la velocidad de flujo máxima.

Generador de ozono modelo: marca WATER-TECH, con capacidad para 4.0 gr./h. incluye equipo de inyección Venturi de 1" de diámetro, Tanque de contacto de fibra de vidrio con válvula de purga de aire, equipo de bombeo para recirculación a tanque de almacenamiento de 1.0 H.P. con tubería y conexiones.

## **Etapa 8. Desinfección UV**

El sistema de dosificación UV inhibirá el 99,99% de los patógenos dañinos incluyendo La giardia y el cryptosporidium. Ofrece un sistema de monitoreo continuo a la salida de la lámpara UV y alertara al sistema de control del PLC en caso de baja intensidad UV.

Consta de un equipo de esterilización de rayos ultravioleta marca TROJAN de 24 Gal./min. Con alarmas audibles de baja intensidad, Contacto N/O seco para conexión a PLC de indicación de baja intensidad. La instrumentación requerida para el control de datos es la siguiente:

- a)** 1 sensor para rayos UV para verificar el funcionamiento correcto de la lámpara UV. Si la lámpara deja de funcionar adecuadamente (intensidad baja o nula), el agua será desviada hacia el drenaje y se emitirá una alarma automáticamente para alertar al operador.
- b)** 1 sensor de cloro residual (ORP) para medir el cloro libre en el agua producida (1-5 mg/L). Si se detecta que el cloro residual es demasiado bajo o demasiado alto, se inicia una alarma para notificar al operador y la dosificación sea corregida.
- c)** 1 sensor de pH para medir el pH del agua producida. Si el pH es demasiado bajo o demasiado alto, el agua será desviada al drenaje y se inicia una condición de alarma
- d)** Sistema CIP: Se recomienda implementar el sistema móvil y un plan de limpieza una vez cada 1.5 a 2 meses, dependiendo de la operación del sistema.

## **Etapa 9. Supervisión de instalación electromecánica, arranque y capacitación**

El sistema será totalmente automatizado y controlado PLC. Las fallas de las bombas y equipos mecánicos iniciarán alarmas que notificarán inmediatamente a los operadores incluso cuando no estén en el sitio a través de la monitorización remota del sistema.

Los parámetros de seguimiento de la calidad del agua serán conductividad/SDT, pH e intensidad de la radiación UV que permitirán asegurar el cumplimiento de la norma NOM-127.

2.- Sensores periféricos de flujo de agua producto, flujo de agua de rechazo, pH de alimentación, temperatura de agua de alimentación, transductor de presión de alimentación, transductor de presión de sistema de osmosis inversa, transductor de presión diferencial y calidad de agua producto.

#### 4.4 Análisis Comparativo Técnico

La tabla 9 muestra el comparativo realizado para cada una de las propuestas.

**Tabla 9. Análisis Comparativo Técnico**

	PROPUESTA 2	PROPUESTA 1
DESCRIPCIÓN	OBSERVACIONES	OBSERVACIONES
<b>Sistema o tratamiento Primario</b>		
ELECTRO-IONIZACIÓN		
bomba sumergible		tipo inastacable 1HP
tanque de polipropileno		alta densidad (2.5m x 1.2m x 1.6m)
electrodos		hechos de aluminio y fierro (desemulsifican las grasas y aceites, rompimiento enlaces moleculares, etc)
REBOMBEO		
capacidad		2500 L
bomba sumergible	NO APLICA	tipo inastacable 1HP
<b>DAF (Floculación por aire disuelto)</b>	<b>RECTANGULAR</b>	<b>CIRCULAR</b>
<b>tanque de alimentación</b>		
volumen de trabajo	2000 galones	2500 litros
material	epóxico	acero inoxidable 304
mezclador	3/4 Hp, 3 fases	NA
<b>SISTEMA DE CLARIFICACIÓN Y SEPARACION DE LODOS</b>		
clarificador (MODELO)	Alar AF40	KROFTA SPC-6
material	acero al carbón	acero inoxidable 304
tamaño del lote (2 por día con duracion de 12 hrs.)	4000 galones	4000 galones
volumen de trabajo	2000 galones	1170 litros
dimensiones	4'6" x 15' x 6' H	4'6" x 15' x 6' H
GPM	0-55	44
eficiencia	99,85%	99,80%
<b>Colector de lodos</b>		
material de construcción	C.S	C.S
bomba centrífuga de saturacion	2 HP	3 HP
<b>QUÍMICOS</b>		
2 tanques de mezclado (material)	polietileno de alta densidad	poliuretano de alta densidad reforzados al 20%
volumen de los tanques de mezclado	650 galones	450 litros (1) y 1000 litros (2)
bombas dosificadoras	de diafragma	pulsafeeder (1) y prominent sigma 1 (1)
tanque de almacenamiento	N/A	2500 litros rotoplas
bomba de rebombeo	centrifuga 2-3 HP	grundfos 1.5 hp
presión	60 psi	60 psi

	PROPUESTA 2	PROPUESTA 1
<b>Filtración</b>		
cantidad		1
diámetro		24"
altura		72"
material		FRP
operación		automática
<b>MEDIO FILTRANTE POR FILTRO</b>		
medio		zapolita
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>		
válvulas		mariposa
servicio		2 de 1"
retrolavado		2 de 1"
enjuague		1 de 0.5"
manómetros		2
Distribuidor Superior		tipo araña
distribuidor inferior		tipo árbol
	N/A	tipo araña
<b>FILTRO DE CARBÓN</b>		
cantidad	1	1
diámetro	24"	24"
altura	72"	72"
material	FRP	FRP
operación	automática	automática
<b>MEDIO FILTRANTE POR FILTRO</b>		
medio	carbón	carbón
cantidad	11.08 ft3	11.08 ft3
factor de filtrado (gpm/ft3)	1,08	1,08
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>		
válvulas	mariposa	mariposa
servicio	2 de 1"	2 de 1"
retrolavado	2 de 1.5"	2 de 1.5"
enjuague	1 de 0.5"	1 de 0.5"
manómetros	2	2
distribuidor Superior	tipo araña	tipo araña
distribuidor inferior	tipo árbol	tipo árbol
<b>Filtro verde de hierro</b>		
caudal	40 gpm	
tubería	PVC de de 1.5 " cedula 80, cementada	
controlador	configurar los tiempos de regeneración. Se proporciona Colector/Manifold Solenoide, filtro colector y regulador. La Tubería neumática es de polipropileno	NO APLICA

	PROPUESTA 2	PROPUESTA 1
<b>Sistema secundario</b>		
2 bombas de transferencia	Aire de diafragma, 2hp grundfos modelo cri multietapas, carcasa de acero inoxidable 304	N/A
mezclador	3/4 HP conforme el actual	3/4 HP conforme el actual
típo	watermark	watermark
modelo	FP1000G32-100-25/40S	FP1000G32-100-25/40S
capacidad	110kg/día ampliable a 140	110kg/día ampliable a 140
Nº de placas	24 ampliable a 31	24 ampliable a 31
dimensiones del filtro prensa	168"x 55"x 65"	168"x 55"x 65"
dimensiones de las placas	800mm x 800mm	800mm x 800mm
material de las placas	polipropileno (32mm espesor)	polipropileno (32mm espesor)
válvulas	PVC	PVC
expansión	adicionales	adicionales
altura	26"	26"
presion de alimentacion	100psi	100psi
material	acero con recubrimiento epóxico	acero con recubrimiento epóxico
<b>Ultra Filtracion ( 4 módulos )</b>		
<b>FILTRO DE AUTOLIMPIEZA</b>		
marca	propietario	forsta
modelo	Sand Filter	M.1-90
flujo (gpm)	up to 40 GPM	24,3
material de la cubierta	epoxy lined carbon steel	304 SS
diametro entrada/salida	36"	1"
diametro de la valvula de enjuague	2" inlet / outlet	1"
retención	up to 5 micron	(150 micrometros)
controlador	By System PLC	incluido
<b>SISTEMA DE AUTOFILTRACION</b>		
produccion total (gpm)	32000 GPD (with rainwater)	18,5
porcentaje de recuperacion	93.5% (backwash will be recovered and treated through DAF a 2nd time)	85,40%
velocidad del flujo de alimentacion	36 GPM	21,8
perdidas (gpm)		3,3
flujo de alimentacion (l/m2/h)	8.0 - 2.6 m3/h	35,5
TSS	16,41	< 20
temperatura de diseño	100 Max 30 continuous	30
turbiedad (NTU)	40 C	< 0,2
SDI	< 0.1	< 2.5

	PROPUESTA 2	PROPUESTA 1
área de filtración	72m3	829 FT2
numero de modulos	FOUR (4)	2
tipo de modulo	PRESSURIZED	2880
SIST. DE FILTRACION DE LA BOMBA DE ALIMENTACIÓN		
cantidad	2,00	1
marca	GRUNDFOS	2 piezas
modelo	CRI5-13	GOULDS OR SIMILAR
Hp	5 HP	5
RPM	3.500,00	3600
voltaje	460/230	230-460
construccion del impulsor	304 SS	316 SS
velocidad del flujo de operación	30-40 GPM	24,1
presión de operación (psi)	60,00	19,8
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE AGUA ULTRAFILTRADA		
capacidad (m3)	4,00	15
material	HDPE	polipropileno
interruptor de nivel	(3) Madison	2 piezas
marca	Iwaki	LMI MILTON ROY
velocidad maxima del flujo de salida (gpm)	0,11	0,1
INSTRUMENTACIÓN		
marca ( medidor de flujo en descarga)	GF Signet 2537	SIGNET
cantidad	3,00	2 (alimentacion y produccion)
sensores	GF Signet 2850	incluidos
medidor de flujo para el sistema	3 (alimentacion, retrolavado y aire)	3 (alimentacion, retrolavado y aire)
marca	signet	signet
sensores	incluidos	incluidos
turbidímetros	2 piezas	2 (alimentacion y produccion)
marca	Rosemont Clarity II, Model T1056	HACH or similar
interruptores de presion	2 piezas	2 piezas
marca	Setra Model 209	DEWIT o similar
manómetros	2 piezas	2 piezas
marca	DEWIT o similar	DEWIT o similar
panel de control (marca)	Allied	ALLEN BRADLEY o similar
material de la estructura de filtracion	Fiberglass	acero al carbon con pintura epoxi
UF		
ENTRADA DE LA ALIMENTACION	automática	automática
cantidad	8	1
tipo	Ball valve, pneumatic	de bola
material de la estructura de filtracion	PVC	PVC

	<b>PROPUESTA 2</b>	<b>PROPUESTA 1</b>
diámetro	2"	1.5"
<b>SALIDA DEL PERMEADO</b>		
cantidad	1	1
tipo	de bola	de bola
material	PVC	PVC
diámetro	1.5"	1.5"
<b>VÁLVULAS DE ENTRADA Y SALIDA DE RETROLAVADO Y ENJUAGUE (automaticas)</b>		
cantidad	1	1
tipo	de bola	de bola
material	PVC	PVC
diámetro	2"	2"
<b>ENTRADA DEL AIRE</b>		
cantidad	1	1
tipo	bola	bola
material	PVC	PVC
diámetro	3/4"	3/4"
bomba de retrolavado	CRI10-1, 0.75 HP	CRI10-1, 0.75 HP
interruptores de flotador	N/A	N/A
interruptores de nivel	Madison	Madison
transmisores de presión	Setra Model 209	Setra Model 209
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>		
1 medidor de caudal	GF Signet 2537	G+ SIGNET
2 transmisores de presión	Setra Model 209	G+ SIGNET
1 monitor de conductividad con sensor de temperatura	GF Signet 2850	G+ SIGNET
1 turbidímetro	Rosemont Clarity II, Model T1056	G+ SIGNET
<b>Osmosis Inversa</b>		
<b>2 BOMBAS DE TRANSFERENCIA</b>	2,00	2
marca	GRUNDFOS MODELO CRI15	GRUNDFOS
HP	14,50	3 + 10
material de la caja	acero inoxidable	CRN-5-9 Y CRN-5-24
tipo de motor	TEFC	BALDOR
<b>MEMBRANAS</b>		3-2 / 6E
cantidad por recipiente a presión	5,00	6
marca	Toray	FILTMEC
dimensión (diámetro)	8" TML20-400	4 X 40"

	<b>PROPUESTA 2</b>	<b>PROPUESTA 1</b>
material	poliamida de película fina (TFC)	poliamida aromática
SDT	2000ppm	9000 ppm
presiones	200-600 psi	600 PSI
material	película delgada de poliamida (TFC)	BW30-4040
<b>RECIPIENTES A PRESIÓN</b>		
tipo de motor (construcción)	FRP	NA
marca	CODELINE	CODELINE
modelo	80S30-5	
presiones	300psi	600 PSI
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>		
3 medidores de flujo	alimentación, permeado y concentrado	G+ SIGNET
2 transmisores de presión	alimentación y concentrado	G+ SIGNET
2 medidores de conductividad y temperatura	alimentación y permeado	G+ SIGNET
<b>Desinfección 1° Ozonización</b>		
caudal	28 GPM	60
tiempo mínimo de contacto	5 min	1 hr
modelo	ozone solutions waterzone 10 con generador de ozono ts-20	Plasma Blo3ck
inyección	2mg/L	ozono venturi
<b>Desinfección ultravioleta</b>		
sistema de dosificación	UV-C	
<b>INSTRUMENTACIÓN</b>		
1 sensor para rayos UV	verificar el funcionamiento de la lámpara UV	
1 sensor de pH	medir pH del agua producida	NO APLICA
<b>Suavizador</b>		<b>OPCIONAL</b>
material	acero al carbono con revestimiento epóxico interno	
caudal (gpm)	60	
medio	28 pies cúbicos de resina catiónica, subfill	
válvula	bola de accionamiento neumático	
material	acero al carbón con revestimiento epóxico interno	
caudal	60 gpm	
medio	30 pies cúbicos arena verde-manganeso sub-relleno	
válvula	bola de accionamiento neumático	
diseño	ASME a 100 psi	
tubería neumática	polipropileno	N/A

	PROPUESTA 2	PROPUESTA 1
<b>Filtro para eliminar hierro</b>		
material	acero al carbon con revestimiento epóxico interno	N/A
dimensiones	36" X 72" asme	
caudal	40 gpm	
válvulas	de bola de accionamiento neumático	
tubería	en pvc de 1.5", cementada en cedula 80	
<b>tubería</b>		
tipo	PVC	PVC
cédula	cedula 80, cementadas	80,00
tipo	acero inoxidable 304	PVC
<b>Instrumentación</b>		
3 transmisores de flujo	gf signet, modelo 2537, p / n: 3-6c-2537-p0	gf signet, modelo 2537, p / n: 3-6c-2537-p0
2 transmisores de conductividad / temperatura	gf signet, modelo 2850, p / n: 3-2850-52-40	gf signet, modelo 2850, p / n: 3-2850-52-40
1 transmisor de ph	gf signet, 2724 modelo: p / n: 3-2724-60	gf signet, 2724 modelo: p / n: 3-2724-60
2 transmisor de presión	setra, modelo 209, p / n: 2091-300p-2m-11-25	setra, modelo 209, p / n: 2091-300p-2m-11-25
1 sensor uv: integral	marca troya uvmax pro 20	marca troya uvmax pro 20
1 turbidímetro	rosemount clarity ii, modelo t1056	marca troya uvmax pro 20
<b>PLC INCLUIDO</b>		
<b>Sistema CIP</b>		
<b>BOMBA DE ALIMENTACION</b>		
cantidad	1	1
marca	Grundfos	gould similar
modelo	CRI10-1	NPE 1X1.25-6
Hp	0,75	2
RPM	3500	360
voltaje	460/230	230/460
construccion del impulsor	304 SS	SS316
velocidad del flujo de operación (GPM)	10-40 gpm	SS316
presion de operación (psi)	21 psig	13,2
<b>CUBIERTA Y BOLSAS DEL FILTRO</b>		
marca	Shelco	HAYWARD o similar
cantidad	1	1
material	304 SS	polipropileno
largo	42"	32"
diámetro	8"	7"
retencion (micrometros)	5 micron	> 1 micra nominal
<b>TANQUE CIP</b>		
cantidad	1	1
material	HDPE	polipropileno
capacidad	300 galones	300 galones

#### 4.5 Análisis Energético

La tabla 10 muestra el análisis energético para cada una de las propuestas:

<b>Tabla 10. Análisis Energético</b>			
<b>PROPUESTA 1</b>		<b>PROPUESTA 2</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>Kwh/día</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>Kwh/m<sup>3</sup></b>
<b>ELECTRO IONIZACION</b>	1.8	<b>DAF (SIST.DOSIFICACIÓN QUÍMICA)</b>	29.77
<b>DAF</b>	0.45	<b>Pre-tratamiento Bombas de alimentación</b>	43.47
<b>OZONO</b>	0.05	<b>Bomba de alimentación RO</b>	90.56
<b>SISTEMA DE FILTROS</b>	0.22	<b>UF bomba de retro lavado</b>	1.60
<b>UF</b>	0.25	<b>Ozonizador</b>	89.05
<b>OI</b>	1.20	<b>Las bombas de dosificación</b>	5.66
<b>Total</b>	3.97	<b>PLC / Control de sistema</b>	24.00
		<b>Sistema agua de lluvia</b>	46.64
<b>Total</b>	<b>290 – 350 kwh/ día</b>	<b>Total</b>	<b>330.75 kwh/día</b>

#### 4.6 Análisis Comparativo Económico

La tabla 11 muestra un análisis comparativo económico para cada una de las propuestas:

<b>Tabla 11. Análisis Comparativo Económico</b>			
<b>PROPUESTA 1</b>		<b>PROPUESTA 2</b>	
<b>Tratamiento primario</b>		<b>Tratamiento primario</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO (MXN)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO (MXN)</b>
Sistema electro-ionización de alto impacto	\$ 2,236,520.00	Sistema DAF	\$4,331,489.37
Sistema DAF	\$ 2,265,380.00	Sistema de pre tratamiento por oxidación.	\$1,470,292.45
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 4,501,900.00</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$ 5,801,781.82</b>
<b>Tratamiento Secundario</b>		<b>Tratamiento Secundario</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO (MXN)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO (MXN)</b>

Sistema de filtración	\$ 230,030.32	Ultra filtro / Suavizador	\$ 2,395,163.90
Equipo de ultra filtración 100 m <sup>3</sup> /día	\$ 1,249,623.96	Filtro removedor de Hierro	\$ 382,706.07
Sistema de osmosis de inversa	\$ 983,845.72	Osmosis Inversa	\$ 1,261,082.74
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$2,463,500.00</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$4,038,952.71</b>
<b>Desinfección</b>		<b>Desinfección</b>	
<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO (MXN)</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS</b>	<b>COSTO (MXN)</b>
Generador de ozono	\$ 562,250.00	Ozonización	\$384,500.92
N/A	N/A	UV	\$55,507.00
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$562,250.00</b>	<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$440,007.92</b>
<b>OTROS</b>		<b>OTROS</b>	

DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS		DESCRIPCIÓN DE EQUIPOS	
COSTO (MXN)		COSTO (MXN)	
Supervisión de instalación electromecánica	\$ 247,000.00	Supervisión de instalación electromecánica	\$ 203,400.00
<b>INVERSIÓN TOTAL</b>		<b>INVERSIÓN TOTAL</b>	
<b>COSTO (MXN)</b>		<b>COSTO (MXN)</b>	
<b>\$8,635,275.00 + IVA</b>		<b>\$11,648,141.1 + IVA</b>	

**Tabla 12. Póliza de Mantenimiento**

PROPUESTA 1		PROPUESTA 2	
<b>Costo (MXN)</b>	\$ 510,250.00	<b>Costo (MXN)</b>	\$ 570,694.54

## 5. EVALUACIÓN Y FACTIBILIDAD TÉCNICO-ECONÓMICA

### 5.1 Criterios de Evaluación

Para poder seleccionar un sistema de tratamiento para agua residual es necesario tener criterios de evaluación establecidos que muestre la mejor opción a elegir.

Los criterios utilizados para este trabajo son el técnico (el tratamiento más adecuado: ingeniería detallada en equipos), económico (inversión, VPN y costos operativos).

### 5.2 Estudio de Mercado

El 59% del consumo total de agua en los países desarrollados se destina a uso industrial, el 30% a consumo agrícola y un 11% a gasto doméstico, según se constata en el primer informe de Naciones Unidas sobre el desarrollo de los recursos hídricos del mundo, Agua para todos, agua para la vida (marzo 2003). En 2025, el consumo de agua destinada a uso industrial alcanzará los 1.170  $Km^3$  / año, cifra que en 1995 se situaba en 752  $Km^3$  año. [22]

El sector productor no sólo es el que más gasta, también es el que más contamina. Más de un 80% de los desechos peligrosos del mundo se producen en los países industrializados, mientras que en las naciones en vías de desarrollo un 70% de los residuos que se generan en las fábricas se vierten al agua sin ningún tipo de tratamiento previo, contaminando así los recursos hídricos disponibles.

En México, las plantas potabilizadoras municipales condicionan la calidad del agua de las fuentes superficiales y/o subterráneas al uso público urbano. En 2009 se potabilizaron 90.04  $m^3/s$  en las 631 plantas en operación del país como se muestra en la Figura 1.

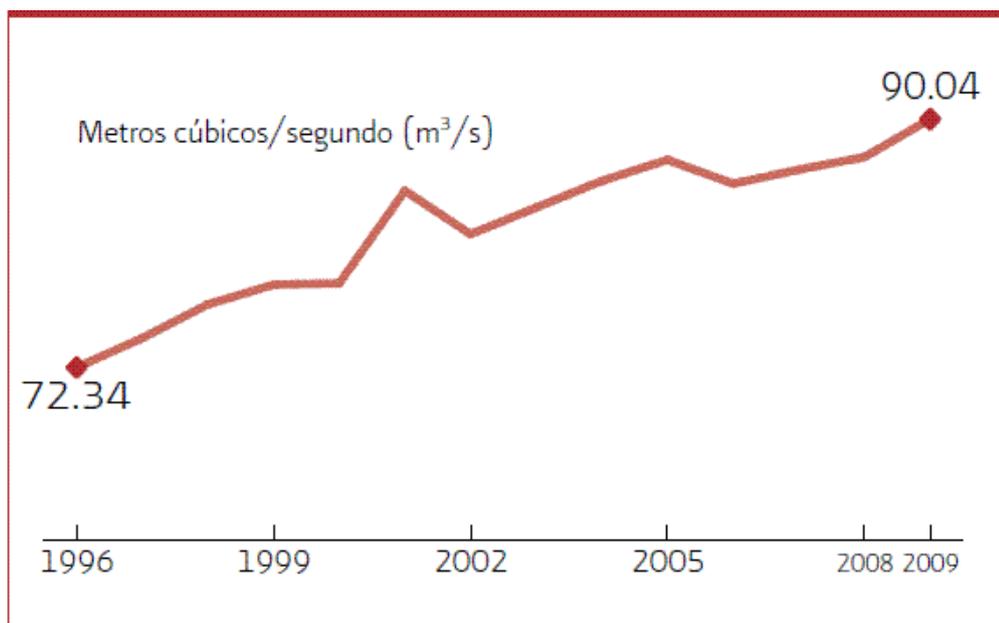


Figura 9. Caudal potabilizado municipal (Fuente: INEGI, 2009)

Al concluir el año 2008 existían registradas en el país, 1,833 plantas municipales de tratamiento en operación, con una capacidad total instalada de 113 023.97 L/s, las que daban tratamiento a 83,640 L/s, equivalentes al 40.2% del agua residual generada y colectada en los sistemas municipales de alcantarillado del país.

Al cierre de 2009, el registro de plantas en operación se incrementó a 2,029 instalaciones, con una capacidad instalada de 120,860.89 L/s y caudal tratado de 88,127.08 L/s, significa el 6.93% en cuanto a capacidad instalada y de 5.36% en caudal tratado, lo que permitió alcanzar una cobertura de tratamiento de aguas residuales municipales del 42.1% en el ejercicio.

Al 2009, se trató el 37.1% de las aguas residuales municipales que se generaron, y se trató el 19.3% de las aguas residuales no municipales, incluyendo a la industria, que se generaron. La tabla 7 muestra las descargas de aguas residuales municipales y no municipales.

<b>Tabla 13. Descargas de aguas residuales municipales y no municipales, 2009</b>		
Centros urbanos (descargas municipales):		
Aguas residuales	7.49	<i>Km<sup>3</sup> / año (237.5 m<sup>3</sup> / s)</i>
Se recolectan en alcantarillado	6.59	<i>Km<sup>3</sup> / año (209.1 m<sup>3</sup> / s)</i>
Se tratan	2.78	<i>Km<sup>3</sup> / año (88.1 m<sup>3</sup> / s)</i>
Se generan	2.02	<i>millones de toneladas de DBO al año</i>
Se recolectan en el alcantarillado	1.78	<i>millones de toneladas de DBO al año</i>
Se remueven en los sistemas de tratamiento	0.61	<i>millones de toneladas de DBO al año</i>
Usos no municipales, incluyendo a la industria:		
Aguas residuales	6.01	<i>Km<sup>3</sup> / año (190.4 m<sup>3</sup> / s)</i>
Se tratan	1.16	<i>Km<sup>3</sup> / año (36.7 m<sup>3</sup> / s)</i>

Se generan	6.95	<i>millones de toneladas de DBO al año</i>
Se remueven en los sistemas de tratamiento	1.33	<i>millones de toneladas de DBO al año</i>

(Fuente: INEGI, 2009)

### 5.3 Análisis Financiero

El nivel tarifario, o pago debido, se expresa en una estructura tarifaria, la mayoría de las veces diferenciada por los tipos de usuario (domésticos, comerciales e industriales, entre otros), así como por algún mecanismo de redistribución de costos mediante subsidios cruzados, en que los usuarios marginados son afectados por tarifas menores que aquéllos considerados como no marginados.

Las estructuras tarifarias son generalmente de bloques incrementales, es decir, a mayor consumo de agua el precio por metro cúbico es mayor. Cabe mencionar que existe una gran variedad de mecanismos, incluyendo la cuota fija, es decir, cuando el usuario paga una cierta cantidad independientemente de lo que haya consumido.

Las tarifas de agua generalmente comprenden:

- a) Cargos fijos, independientes del volumen empleado.
- b) Cargos variables por concepto de abastecimiento de agua, en función del volumen empleado.
- c) Cargos variables por concepto de alcantarillado y tratamiento de aguas residuales, generalmente aplicados como un porcentaje de los cargos por concepto de abastecimiento de agua.

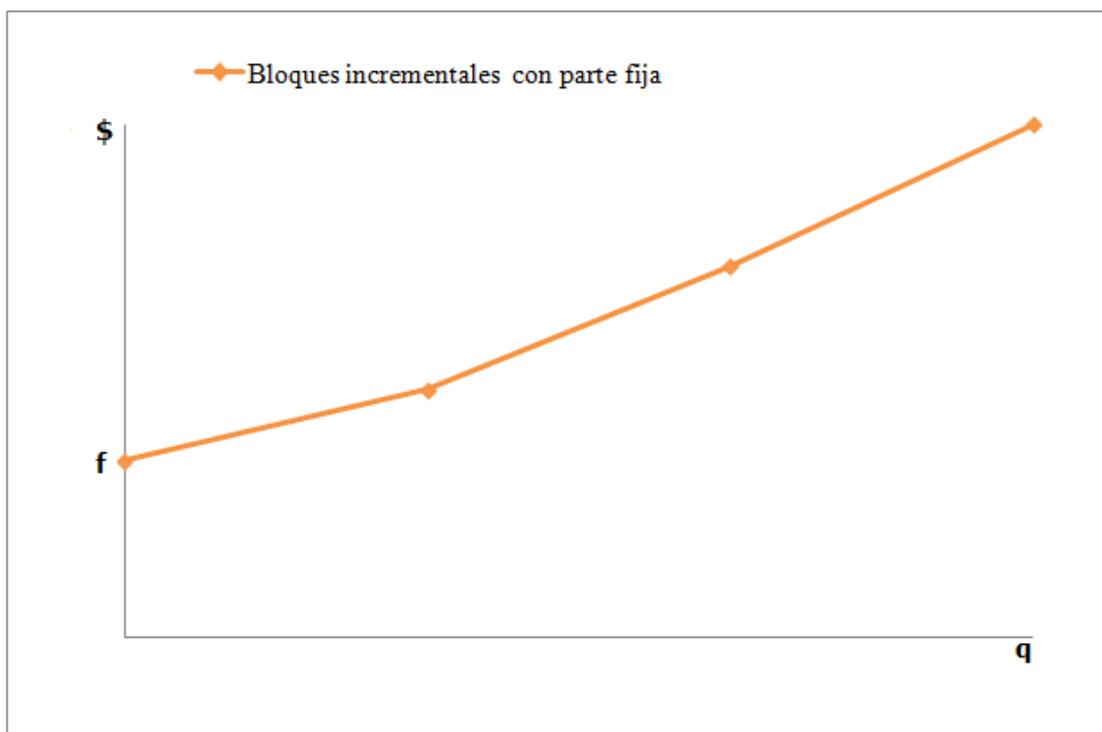


Figura 10. Estructuras Tarifarias Comunes en México: Bloque incremental con parte fija (Fuente: Conagua 2010)

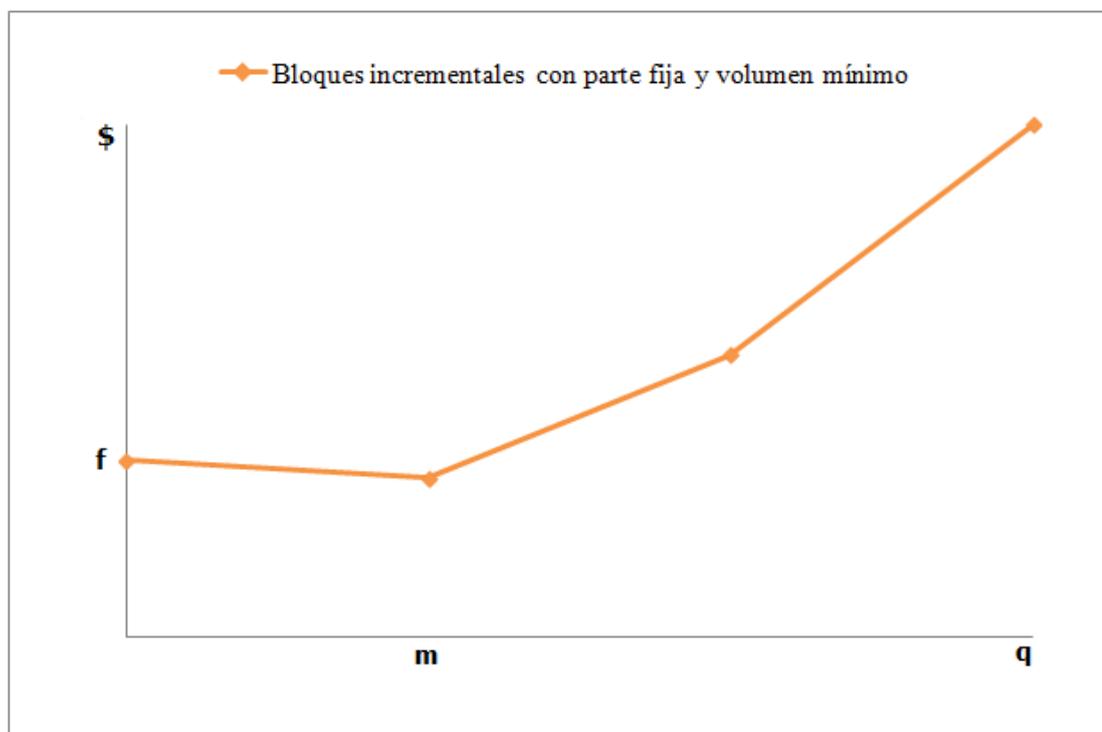


Figura 11. Estructuras Tarifarias Comunes en México: Bloque incremental con parte fija y volumen mínimo (Fuente: Conagua 2010)

Figura 12. Estructuras Tarifarias Comunes en México: Cuota fija

(Fuente: Conagua 2010)

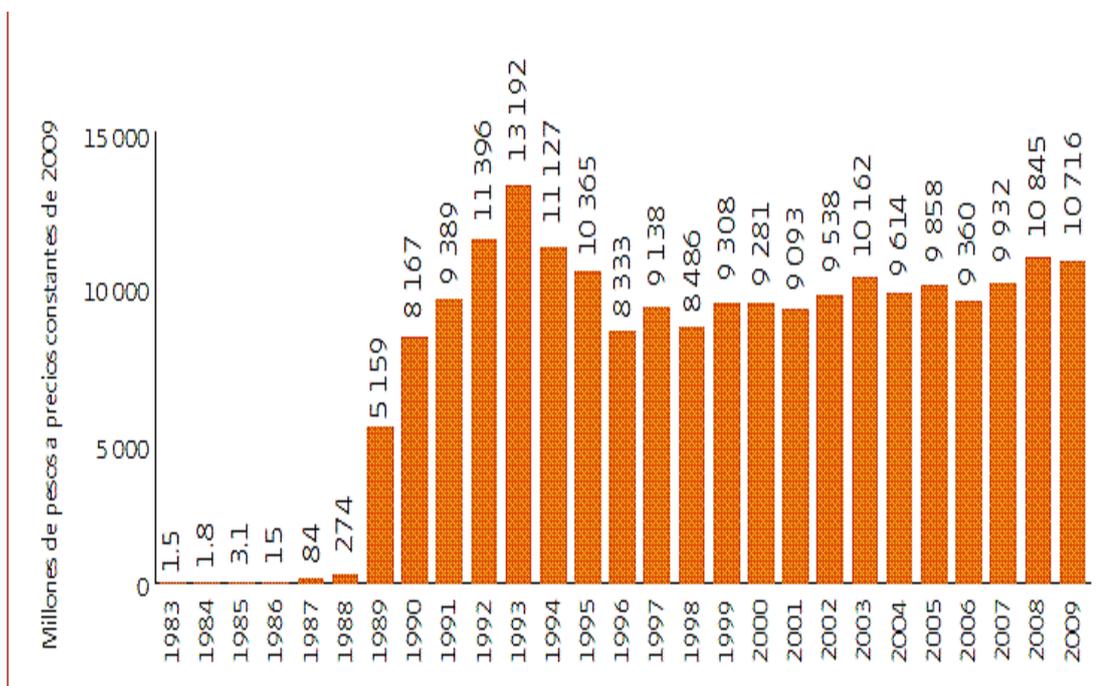


Figura 13. Recaudación de la Conagua por el cobro de derechos, 1983-2009

#### 5.4 Análisis costo-beneficio (VPN).

Uno de los objetivos del presente trabajo es presentar una evaluación económica de la propuesta 1 y propuesta 2 respectivamente para poder comparar el valor presente neto (VPN), y así poder tener un panorama y una visión amplia de lo que implica económicamente obtener cada una de ellas, es decir, cuales serán los costos proyectados en 10 años, que gastos tales como pago a reciclagua, agua extraída de pozo, entre otros, los cuales se aseguran reducirse, al tener un sistema cero descargas en circuito cerrado, también sirve para definir el tiempo en el cual la misma empresa pagará su inversión, es decir será rentable, a partir de este tiempo la utilidad será positiva. Todo esto con el objetivo que cualquier empresa quiere obtener: rentabilidad (utilidad), factibilidad y viabilidad. Finalmente lo que se hace es una inversión y lo que se esperan son ganancias.

Las tablas 14 y 15 muestran el Valor Presente Neto (VPN) de la propuesta 1 y la propuesta 2 respectivamente.

Para la construcción y análisis de los presentes estados de resultados se tomarán en cuenta los siguientes criterios:

1. Para el año cero solo se contempla inversión, ya que aun no se produce ni necesita nada más, que instalar la planta de tratamiento de agua química residual

2.- El volumen considerado es de  $80\text{m}^3/\text{día}$ , transformándolo para el año 1 de funcionamiento de la planta es de  $28800\text{ m}^3/\text{año}$ , sin embargo la demanda de la producción se espera aumente en un 6% más lo que implica tratar 6% más de agua química residual.

3.- Ventas: es vital mencionar y resaltar que al ser una planta de tratamiento de agua residual la que se está adquiriendo produce agua tratada y este producto no es comercial, para esta empresa, ya que su giro comercial industrial, no es tratar agua, pero si es en grandes cantidades es parte de su materia prima, así como una de las principales razones de su adquisición es el límite de extracción debido a la concesión gubernamental establecida y permitida.

4.- Como costos variables se considero reciclagua, ya que no siempre se trata la misma cantidad de agua, el consumo de químicos (polímeros) ya que además de variar la cantidad, también su precio no está fijo, es decir, se depende del proveedor, el costo por agua de pozo y energía varían dependiendo del volumen de agua a tratar. Otro costo variable es la mano de obra, varía la cantidad de días que opera el trabajador, sin mencionar que como la planta a instalar será automatizada, en un principio se requiere capacitar al personal.

5. Como costos fijos se considero solo la depreciación lineal.

Los costos totales es la suma de los costos variables y fijos que serán necesarios e indispensables para el funcionamiento de la planta, en los estados de resultados de cada una de las propuestas se proyectaron a 10 años funcionando la misma. Permittiéndonos tener una visión del estado económico de la planta en ese periodo de tiempo, y así tomar la decisión respectiva sobre las implicaciones al adquirir una planta de tratamiento de agua química residual.

6.- La utilidad, es decir, la ganancia en los dos estados de resultados se visualiza y proyecta negativa, lo cual es lógico debido a que no hay ventas de  $\text{m}^3$  de agua como tal. Por lo cual se entiende que solo se le está invirtiendo, sin embargo la

justificación de la adquisición de dicha planta radica en que ya no se harán gastos como reciclagua y extracción de agua de pozo, siendo cantidades de dinero positivas proyectas en el estado económico de la PTAR; el costo considerado de reciclagua y extracción de agua de pozo por  $m^3$  de agua es de \$11.2, y \$ 12 respectivamente.

7.- Para que cada año la PTAR esté trabajando requiere de un WCR (capital de trabajo requerido), que es el capital mínimo requerido para su funcionamiento.

Finalmente el último flujo de efectivo descontado acumulado (FEDA) expresa el VPN para cada una de las propuestas.

**Tabla 14. Estado de Resultados Propuesta 1**

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumen	-	28800	29664	30254	30711	31172	31639	31639	31639	31639	31639
Ventas	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Costos Variables</b>											
Reciclagua	-	322560	332236,8	338844,8	343963,2	349126,4	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8
Químicos	-	599040	617011,2	629283,2	638788,8	648377,6	658091,2	658091,2	658091,2	658091,2	658091,2
Mano de Obra	-	241920	249177,6	254133,6	257972,4	261844,8	265767,6	265767,6	265767,6	265767,6	265767,6
Energía	-	564192	581117,76	592675,9	601628,5	610659,5	619808	619808	619808,01	619808,01	619808,01
Agua de Pozo	-	345600	355968	363048	368532	374064	379668	379668	379668	379668	379668
<b>Costos Fijos</b>											
Depreciación	-	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5
Costos Totales	-	2987864,5	3050063,9	3092538	3125437	3158625	3192244	3192244	3192244,1	3192244,1	3192244,11
Utilidad Bruta	-	-2987865	-3050064	-3092538	-3125437	-3158625	-3192244	-3192244	-3192244	-3192244	-3192244,11

Gastos	-	15000	5000	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilidad Operativa	-	-3002865	-3055064	-3092538	-3125437	-3158625	-3192244	-3192244	-3192244	-3192244	-3192244,11
Utilidad Neta	-	-3002865	-3055064	-3092538	-3125437	-3158625	-3192244	-3192244	-3192244	-3192244	-3192244,11
+ Depreciación	-	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5	914552,5
+ Valor de Reventa	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40000
Reciclagua	-	322560	332236,8	338844,8	343963,2	349126,4	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8
Agua de Pozo (70%-90%)	-	241920	249177,6	254133,6	257972,4	336657,6	341701,2	341701,2	341701,2	341701,2	341701,2
-Inversión	<b>9.145.525</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-WCR	-	-24960	-25708,8	-26220,1	-26616,2	-27015,7	-27420,5	-27420,47	-27420,47	-27420,47	-27420,46667
FE	-10644397	-1533388	-1558787	-1582333	-1531273	-1554213	-1554213	-1554213	-1554213	-1514213	0
FEA	-10644397	-12177785	-13736572	-1,5E+07	-6205781	-7759994	-9314207	-10868420	-12422633	-13936846	-13936846,44
FED	-3427211	-493709,9	-501887,7	-509469	-493029	-500415	-500415	-500415	-500415	-487536,1	0
FEDA	-3427211	-3920921	-4422809	-4932277	-5425306	-5925721	-6426136	-6926551	-7426966	-7914503	<b>- 7.914.503</b>

Tabla 15. Estado de Resultados Propuesta 2

Año	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Volumen	-	28800	29664	30254	30711	31172	31639	31639	31639	31639	31639
Ventas	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Costos Variables</b>											
Reciclagua	-	322560	332236,8	338844,8	343963,2	349126,4	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8
Químicos	-	599040	617011,2	629283,2	638788,8	648377,6	658091,2	658091,2	658091,2	658091,2	658091,2
Mano de Obra	-	241920	249177,6	254133,6	257972,4	261844,8	265767,6	265767,6	265767,6	265767,6	265767,6
Energía	-	564192	581117,76	592675,9	601628,5	610659,5	619808	619808	619808,01	619808,01	619808,01
Agua de Pozo	-	345600	355968	363048	368532	374064	379668	379668	379668	379668	379668
<b>Costos Fijos</b>											
Depreciación	-	1221883,5	1221883,5	1221884	1221884	1221884	1221884	1221884	1221883,5	1221883,5	1221883,5
Costos Totales	-	3295195,5	3357394,9	3399869	3432768	3465956	3499575	3499575	3499575,1	3499575,1	3499575,11
Utilidad Bruta	-	-3295196	-3357395	-3399869	-3432768	-3465956	-3499575	-3499575	-3499575	-3499575	-3499575,11
Gastos	-	15000	5000	0	0	0	0	0	0	0	0

Utilidad Operativa	-	-3310196	-3362395	-3399869	-3432768	-3465956	-3499575	-3499575	-3499575	-3499575	-3499575,11
Utilidad Neta	-	-3310196	-3362395	-3399869	-3432768	-3465956	-3499575	-3499575	-3499575	-3499575	-3499575,11
+ Depreciación	-	1221883,5	1221883,5	1221884	1221884	1221884	1221884	1221884	1221883,5	1221883,5	1221883,5
+ Valor de Reventa	-	0	0	0	0	0	0	0	0	0	40000
Reciclagua	-	322560	332236,8	338844,8	343963,2	349126,4	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8	354356,8
Agua de Pozo (70%-90%)	-	241920	249177,6	254133,6	257972,4	336657,6	341701,2	341701,2	341701,2	341701,2	341701,2
-Inversión	<b>12.218.835</b>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
-WCR	-	-24960	-25708,8	-26220,1	-26616,2	-27015,7	-27420,5	-27420,47	-27420,47	-27420,47	-27420,46667
FE	-13717707	-1533388	-1558787	-1582333	-1531273	-1554213	-1554213	-1554213	-1554213	-1514213	0
FEA	-13717707	-15251095	-16809882	-1,8E+07	-6205781	-7759994	-9314207	-10868420	-12422633	-13936846	-13936846,44
FED	-4416734,5	-493709,9	-501887,7	-509469	-493029	-500415	-500415	-500415	-500415	-487536,1	0
FEDA	-4416734,5	-4910444	-5412332	-5921801	-6414830	-6915245	-7415660	-7916075	-8416490	-8904026	<b>- 8.904.026</b>

## 6. RESULTADOS

a) **Resultado en Tecnología (Parámetros de salida del agua ya tratada):** La tabla 9 muestra los resultados de la tecnología de cada una de las propuestas, así como los principales parámetros a analizar en el agua final tratada.

<b>Tabla 16. Resultado en Tecnología (Parámetros de salida del agua ya tratada)</b>		
<b>PROPUESTA 1</b>	<b>Tecnología</b>	<b>PROPUESTA 2</b>
√	<b>Electro ionización de Alto Impacto</b>	N/A
√	<b>Sistema DAF</b>	√
N/A	<b>Sistema de pre tratamiento por oxidación.</b>	√
√	<b>Sistema de Filtración</b>	N/A
N/A	<b>Filtro Removedor de Hierro</b>	√
√	<b>Sistema de Ultrafiltración</b>	√
√	<b>Osmosis Inversa</b>	√
√	<b>Ozonización</b>	√
N/A	<b>UV</b>	√
< 1	<b>SST (mg/L)</b>	< 1
<b>ACORDE A LA</b>	<b>SDT (mg/L)</b>	<b>ACORDE A LA</b>

<b>NOM-127</b>		<b>NOM-127</b>
<b>&lt; 100</b>	<b>DBO (mg/l)</b>	<b>&lt; 100</b>
<b>&lt; 100</b>	<b>DQO (mg/l)</b>	<b>&lt; 100</b>
<b>ACORDE A LA NOM-127</b>	<b>pH</b>	<b>ACORDE A LA NOM-127</b>
<b>ACORDE A LA NOM-127</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>	<b>ACORDE A LA NOM-127</b>
<b>ACORDE A LA NOM-127</b>	<b>Color</b>	<b>ACORDE A LA NOM-127</b>
<b>ACORDE A LA NOM-127</b>	<b>Olor</b>	<b>ACORDE A LA NOM-127</b>

**b) Resultado de Costo por Inversión Total:** La tabla 10 muestra la inversión total para cada una de las propuestas la cual incluye el costo por equipos y el costo por la póliza de mantenimiento.

<b>Tabla 17. Costo por Inversión Total (Costo por equipos y póliza de mantenimiento)</b>			
<b>PROPUESTA 1</b>		<b>PROPUESTA 2</b>	
<b>Costo de Equipos (MXN)</b>	\$8,635,275.00 + IVA	<b>Costo de Equipos (MXN)</b>	\$11,648,141.1 + IVA

<b>Póliza de Mantenimiento (MXN)</b>	\$510,250.00	<b>Póliza de Mantenimiento (MXN)</b>	\$570,694.54
<b>INVERSIÓN TOTAL (MXN)</b>	<b>\$9,145,525.00</b>	<b>INVERSIÓN TOTAL (MXN)</b>	<b>\$12,218,835.64</b>

c) **VPN:** A continuación la tabla 11 muestra el resultado de VPN para cada una de las propuestas, comparar y poder seleccionar la mejor alternativa o propuesta.

<b>Tabla 18. Resultado de Valor Presente Neto (VPN) de Propuesta 1 y 2</b>		
<b>PROPUESTA 1</b>		<b>PROPUESTA 2</b>
<b>- 7,91,503.00</b>	<b>VPN</b>	<b>-8,904,026.00</b>

d) **Resultado Energetico:** La tabla 8 muestra el consumo energetico total para cada una de las propuestas:

<b>Tabla 19. Resultado Energetico Total</b>			
<b>PROPUESTA 1</b>		<b>PROPUESTA 2</b>	
<b>Consumo Total</b>	<b>290 – 350 kwh/ día</b>	<b>Consumo Total</b>	<b>330.75 kwh/día</b>

## 7. SUGERENCIAS A LAS PROPUESTAS

Analizando cada una de las propuestas en sus etapas de cada proceso para potabilizar agua y cumplir con la NOM- 127, se observa que las dos son muy parecidas en sus procesos para llegar a dicha norma; anticipadamente se sabe que cada sector industrial requiere de un tratamiento específico ya acorde al tipo de contaminantes presentes en el agua, sin embargo una de las propuestas planteadas ofertó a la empresa, tratar su agua en una planta piloto; por lo cual se sugiere que para cualquier otra propuesta, hacer una prueba de este tipo, ya que esto genera una mayor confianza y menor incertidumbre en la empresa adquiridora de este bien así como la entrega de una oferta con los equipos, etapas y costos necesarios para el tratamiento.

En cuanto a los procesos descritos en este trabajo, una de las etapas que define la calidad del agua, es el uso de ozono, ya que de antemano se sabe que un fuerte y efectivo oxidante de materia orgánica, que no deja rastro de posibles contaminantes en el agua tratada por su rápida descomposición en contacto con el aire, sin embargo requiere de una gran cantidad de energía eléctrica, reflejada en un aumento de costos, por lo cual se sugiere usar peróxido que es también un fuerte oxidante mucho más económico, pero no debe dejarse atrás la observación de que su uso depende del tipo de agua contaminada a tratar.

## 8. CONCLUSIONES

En base a los análisis técnico-económicos (VPN, Análisis Comparativo Económico, Análisis Comparativo Técnico y Análisis Comparativo Energético) que se realizaron para la propuesta 1 y propuesta 2, se llegó a la conclusión de que elegir la mejor propuesta para potabilizar agua con calidad en base a la NOM-127 implica no sólo elegir la propuesta más económica, si no la más robusta, es decir, que cumpla y supere los parámetros permisibles, así como al elegir el mejor proceso, también se tomó en cuenta los gastos por mantenimiento (póliza de mantenimiento), concluyendo que la mejor es la propuesta 1, ya que además de requerir una inversión menor, también los gastos de mantenimiento por operación son menores.

Referenciando hacia la póliza de mantenimiento la mejor opción es la propuesta 1 ya que a pesar de ser muy parecidos los costos, se concluye se eligió dicha propuesta ya que si se proyecta esta diferencia de costos a 10 años, la diferencia representativa es de \$604445.40 MXN.

Comparando el consumo energético de cada una de las propuestas, se observa que para la propuesta 1 hay un intervalo y este se debe a que las concentraciones de contaminantes presentes en el agua no son constantes ya que cualquier proceso de industria no es constante como bien se conoce, debido a que la demanda no es la misma en cualquier temporada del año, afectando la producción y por consecuencia concentraciones contaminantes en el agua; Eco Innovación por lo contrario estimo un promedio de posible consumo energético sin tomar en cuenta estas variables no constantes para cualquier industria, por lo cual se elige la propuesta 1.

Finalmente analizando el Valor Presente Neto, es congruente y lógico que su valor sea negativo ya que una planta de tratamiento de agua residual no tiene ventas tangibles como tal, sin embargo la justificación para una inversión de este tipo, para cualquier industria radica en sustentabilidad y principalmente que por concesión gubernamental solo está permitido extraer máximo 50,000  $m^3$  /año, y en el caso de esta empresa, dicha concesión sería revasada por un incremento importante en la demanda de consumo, luego entonces si no se invierte se limitaría el potencial de crecimiento en producción.

Con este tipo de tratamiento aplicado al agua residual proveniente de agua, se tiene grandes beneficios, además de ser una empresa sustentable y socialmente responsable con un sistema cero descargas, se reducen los gastos de reciclagua en al menos 75% menores a los actuales, se reduce la extracción de agua de pozo por ende cumpliendo con la concesión gubernamental.

## 9. PERSPECTIVAS

1.- Ya instalada la planta de tratamiento de agua residual correspondiente a la propuesta 1 puede generar factor recurso humano, no solo para su operación, si no para posteriores investigaciones que al aplicarse a la misma planta generaran varios beneficios a la empresa misma, a continuación se describirán algunos puntos de investigación:

- a) Dar seguimiento a tiempo de vida a los electrodos
- b) Aprovechamiento de  $H_2$  generado durante la electro-ionización (medir, diseñar, analizar y sugerir aplicación)
- c) Aprovechamiento de lodos generados como fertilizante por medio de la biotecnología (lombricomposteo), reduciendo costos por uso actual (relleno sanitario), así como la cantidad neta de lodos generados en un 50%.

2.-La tecnología de eletro-ionizacion es una tecnología 100% limpia, es decir, como productos solo genera  $H_2$  y agua tratada, y no requiere de algún tratamiento posterior para eliminar posibles contaminantes generados y no eliminados. Se propone el uso de paneles solares como generadores de electricidad, en vez de usar corriente eléctrica suministrada por CFE, reduciría grandes costos ya que Toluca es un municipio altamente radiante.

## 9. REFERENTES BIBLIOGRÁFICOS

- [1] Cáceres L. O., Desinfección del Agua, Lima Perú, Ministerio de Salud, Organización Panamericana de la Salud. Organización Mundial de la Salud, 1990.
- [2] Guías para la Calidad del Agua Potable, Volumen 1, Recomendaciones, Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud, 1985.
- [3] Guías para la Calidad del Agua Potable, Volumen 2, Criterios relativos a la salud y otra información de base, Organización Panamericana de la Salud, 1987.
- [4] Guía para la Redacción, Estructuración y Presentación de las Normas Oficiales Mexicanas, Proyecto de Revisión, SECOFI, 1992.
- [5] Carl L. Hamann Jr., P.E. J. Brock Mc. Ewen, P.E. Anthony G., Guide to Selection of Water Treatment Processes, Ed Meyers
- [6] Ingeniería Ambiental, Revista No. 23., Año 7, 1994.
- [7] Unda O. F., Ingeniería Sanitaria Aplicada a la Salud Pública, UTEHA ,1969.
- [8] Gordon M. Fair, John C. Geyer, Daniel A. Okun, Ingeniería Sanitaria y de Aguas Residuales, Limusa Wiley, 1971.
- [9] Instructivo para la Vigilancia y Certificación de la Calidad Sanitaria del Agua para Consumo Humano, Comisión Interna de Salud Ambiental y Ocupación, Secretaría de Salud. 1987.
- [10] Kawamura S., Willey J., Integrated Design of Water Treatment Facilities, Inc. 1991.
- [11] "Manual de Normas de Calidad para Agua Potable". Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas. 1982.
- [12] Manual de Normas Técnicas para el Proyecto de Plantas Potabilizadoras, Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas, 1979.
- [13] Reglamento de la Ley General de Salud en Materia de Control Sanitario de Actividades, Establecimientos, Productos y Servicios". Diario Oficial de la Federación, 18 de Enero de 1988.
- [14] Revision of the WHO Guidelines for Drinking-Water Quality, IPS, International Programme on Chemical Safety United Nations Environment Programme. International Labor Organization, World Health Organization, 1991.
- [15] Who Guidelines for Drinking-Water Quality, Volume 1, Recommendations. World Health Organization. 1992.

- [16] Comisión Nacional del Agua, Inventario nacional de plantas municipales de potabilización y tratamiento de aguas residuales en operación, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2009
- [17] Ramalho R. S., Tratamiento de aguas residuales, Editorial Reverte, 2003
- [18] Rico G. A., Química 1. Agua y Oxígeno, Editorial Reverte.2004
- [19] Manahan S., Introducción a la Química Ambiental, 1ª Edición 2007
- [20] Castillo G., Ensayos Toxicológicos y Métodos de Evaluación de Calidad de Aguas
- [21] Solís S. L. Ma., Principios Básicos de Contaminación Ambiental, 1ª Edición 2003.
- [22] Comisión Nacional del Agua, Estadísticas del agua en México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, edición 2011
- [23] [http:// www.novapdf.com](http://www.novapdf.com)
- [24] <http://www.toraywater.com>
- [25] [http:// www.prominent.com](http://www.prominent.com)
- [26] Eco Innovación Urbana S.A. de C.V., <http://www.ecoinovacion.com>
- [27] Grupo DESTRA S.A. de C.V, <http://www.industriasislas.com>, <http://www.grupodestra.com>