



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

---

**FACULTAD DE QUÍMICA**

***“DISEÑO DE UNA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS GRISES, EMPLEANDO MODELOS TRIDIMENSIONALES”.***

**T E S I S**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**INGENIERO QUÍMICO**

PRESENTA:

**LUIS RODOLFO ALVARADO DE LA FUENTE**



MÉXICO, D.F.

2014

**JURADO ASIGNADO:**

**PRESIDENTE:** Profesor: ANTONIO VALIENTE BARDERAS  
**VOCAL:** Profesor: LUCILA CECILIA MÉNDEZ CHÁVEZ  
**SECRETARIO:** Profesor: JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍÍREZ  
**1er. SUPLENTE:** Profesor: AURORA DE LOS ÁNGELES RAMOS MEJÍA  
**2° SUPLENTE:** Profesor: EZEQUIEL MILLAN VELASCO

**SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:**

**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA QUÍMICA, FACULTAD DE QUÍMICA**

**ASESOR DEL TEMA:**

---

**JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ**

**SUSTENTANTE:**

---

**LUIS RODOLFO ALVARADO DE LA FUENTE**

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.....</b>	<b>5</b>
INTRODUCCIÓN.....	6
OBJETIVO.....	9
OBJETIVOS PARTICULARES.....	10
<b>Capítulo I. ANTECEDENTES DE LA PLANTA.....</b>	<b>11</b>
1.1 EL AGUA, RECURSO VITAL DE LA HUMANIDAD.....	12
1.2 AGUAS GRISES.....	14
1.3 TRATAMIENTOS PARA AGUAS GRISES.....	17
1.4 DATOS SOBRE LA RECOLECCIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LAVADORA.....	18
1.5 DATOS SOBRE EL CONSUMO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.....	20
1.6 DATOS PARA EL ESCALAMIENTO Y LA CONSTRUCCIÓN.....	21
<b>Capítulo II. PRESENTACIÓN DE LA TÉCNICA DE ELECTROCOAGULACIÓN.....</b>	<b>23</b>
2.1 EVOLUCIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	24
2.2 LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	25
2.3 ELECTROQUÍMICA DEL PROCESO.....	28
2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELECTROCOAGULACIÓN.....	31
2.5 JUSTIFICACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL DFP.....	31
<b>Capítulo III. BASES DE DISEÑO.....</b>	<b>35</b>
1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	36
2. ALCANCES.....	37
3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	37
4. NORMATIVIDAD.....	37
5. DESARROLLO.....	40
<b>Capítulo IV. CRITERIOS DE DISEÑO.....</b>	<b>44</b>
I. TANQUES Y RECIPIENTES.....	45
II. EQUIPO DE TAMIZADO.....	46
III. ELECTROCOAGULADOR.....	48
IV. BOMBAS.....	49
<b>Capítulo V. DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO (DFP).....</b>	<b>51</b>
5.1 GENERALIDADES DE UN DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.....	52
5.2 INTRODUCCIÓN AL PROCESO.....	52
5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.....	52
5.4 DFP.....	55

<b>Capítulo VI. DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (DTI).</b>	<b>56</b>
6.1 GENERALIDADES DE UN DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN	57
6.2 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN.....	57
6.3 DTI.....	61
<b>Capítulo VII. HOJAS DE DATOS.</b>	<b>62</b>
7.1 GENERALIDADES DE UNA HOJA DE DATOS.....	63
<b>Capítulo VIII. MODELADO TRIDIMENSIONAL.</b>	<b>70</b>
8.1 PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA.	72
8.2 DESARROLLO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.....	74
8.3 ACOPLAMIENTO DE LOS EQUIPOS.....	81
8.4 RECORRIDO VIRTUAL.....	82
<b>CONCLUSIONES.</b>	<b>83</b>
<b>APÉNDICE.</b>	<b>86</b>
I. APÉNDICE ECONÓMICO.	87
II. COSTO DE SERVICIOS.	87
<b>BIBLIOGRAFÍA.</b>	<b>91</b>
BIBLIOGRAFÍA.....	92
REFERENCIAS.....	93

# INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS.

---

## INTRODUCCIÓN.

Desarrollar tecnología es una herramienta muy útil, ha permitido generar avances y desarrollos de gran valor para el ser humano, si bien es cierto que en un principio la tecnología permitía reemplazar actividades existentes de forma que se lograba reducir tiempo y esfuerzo, conforme avanzan los años la tecnología no solo reemplaza procesos, técnicas e instrumentos, sino que aparecen desarrollos nuevos en base a necesidades humanas. En general las necesidades humanas fomentan la creatividad y por ende el desarrollo tecnológico.

Por desgracia en ocasiones sacrificamos los recursos naturales por la necesidad de generar avances en la ciencia y tecnología. Esto es algo que ocurre con mucha frecuencia en el área ambiental, ya que las grandes industrias, las construcciones, y la mayoría de las empresas que brindan algún producto o servicio, difícilmente prevén el daño que generan al ambiente, tal es el caso de un recurso como el agua que desde hace años comenzó a disminuir de forma alarmante, el uso desmedido de este líquido vital y su contaminación descontrolada provoca alerta a nivel mundial.<sup>27</sup>

Tan solo en México la población creció en los últimos 60 años cerca de 5 veces llegando casi a los 120 millones de habitantes de los cuales 9 millones se concentran en la ciudad de México<sup>18</sup>. De acuerdo con la Comisión Nacional del Agua el consumo de agua por habitante en el Distrito Federal es de 360 litros por día, esto es más del doble que lo recomendado por habitante para las grandes ciudades (el consumo diario por habitante en grandes ciudades es de 150 litros).<sup>19</sup>

Es claro que al aumentar la población también ha aumentado el consumo de agua, cada vez se hace más complicado satisfacer las necesidades de agua en México, el Distrito Federal es abastecido a razón de 35.2 m<sup>3</sup>/s por cuatro fuentes distintas que son<sup>19</sup>:

- Mantos acuíferos del valle de México 49.3%
- Sistema Cutzamala 28.3%
- Sistema Lerma 12.4%
- Manantiales del sur-poniente de la ciudad 10%

Por desgracia estas fuentes de abastecimiento son contaminadas día a día. Un caso importante de contaminación en estas fuentes de agua que distribuyen a la ciudad de México es el río Lerma, donde se han encontrado metales pesados como cadmio y cromo, así como 51 compuestos orgánicos volátiles, lo que constituye una señal de alarma debido a que muchos de estos compuestos detectados son tóxicos y están clasificados como cancerígenos o probables cancerígenos, según los parámetros de la Agencia Internacional para la Investigación en Cáncer (IARC). Tras distintos análisis de agua en el río Lerma, se ha encontrado una fuerte presencia de contaminantes industriales, el río recibe descargas de hasta 500 empresas cuyos giros van desde lo textil hasta el farmacéutico.<sup>27</sup>

Otro caso relevante de contaminación es en el sistema Cutzamala, donde aguas negras sin tratamiento son vertidas en las tres principales presas del Sistema De acuerdo con la dependencia de Drenaje y Saneamiento del Organismo de Cuenca Aguas del Valle de México (OCAVM) de la CONAGUA, a pesar de que haya infraestructura construida para tratar el vital líquido, ésta no se utiliza como debe ser. Las presas de Valle de Bravo, El Bosque y Villa Victoria, reciben descargas directas de aguas negras, lo que ocasiona un problema de contaminación en la primera de ellas, que obliga a mandar a la Ciudad de México agua con olor y sabor desagradable.<sup>27</sup>

La relevancia de estos dos casos es evidente ya que el río Lerma y el Sistema Cutzamala conforman más del 40% del abastecimiento al Distrito Federal por lo que es necesario controlar las descargas contaminantes sobre estos sistemas y prevenir el aumento de contaminación en el suministro de agua en el valle de México.<sup>27</sup>

Una solución al abastecimiento de agua es el reúso. El agua que distribuye el gobierno del distrito federal, el 50% es para uso particular en casas y condominios<sup>19</sup>, Por desgracia no damos un uso adecuado al agua que se nos distribuye, más del 40% del agua potable que llega a nuestros hogares se destina para usos domésticos y conjuntando labores domésticas y actividades de aseo personal cerca del 50% del agua consumida en una casa es enviada al drenaje con calidad de agua gris<sup>26</sup>. Esto claramente es un problema ya que el agua gris cumple con ciertas características que le permite ser tratada y reutilizada de forma distinta a las llamadas aguas negras. En el capítulo I se abordan con detenimiento los temas

relacionados a las aguas grises, sus técnicas de tratamiento y posibles usos y cuidados, y es que el 98% de los municipios y delegaciones en México cuentan con un suministro de agua potable pero solo 30% da algún tipo de tratamiento a sus aguas residuales, esto quiere decir que solo 3 de cada 10 personas realizan alguna actividad para reutilizar el agua que consumen<sup>15</sup>.

El consumo de agua en una casa puede dividirse en dos rubros, el uso personal y el uso doméstico, respecto al uso personal el mayor consumo se presenta en regaderas y está alrededor del 34%, debido a que hoy en día solo el 16% de la población bebe el agua potable suministrada por la red pública. En el caso del uso doméstico el uso del agua en sanitarios representa el 15% del consumo y un 12% es atribuido al agua utilizada en las lavadoras<sup>16</sup>. Estos y otros datos importantes del agua son detallados en el capítulo I.

Hoy en día las plantas de tratamiento de aguas residuales cumplen una labor importante ya que compensan el gasto inmensurable de agua, por ejemplo la planta de tratamiento de aguas residuales que se construye en el municipio de Atotonilco en Hidalgo que planea tratar 12 metros cúbicos por segundo de agua residual<sup>26</sup>, y es que las plantas de tratamiento ayudan a mejorar las condiciones sanitarias y a lograr una mejor distribución del agua. Por esto una contribución para disminuir el consumo de agua es tratar el agua gris proveniente de las lavadoras de modo que alcance parámetros de agua tratada, la cual cumple con normas que estipulan niveles permisibles para ser usada en labores y actividades domésticas sin provocar ningún daño a la salud. El agua gris tratada se propone reutilizarla en sanitarios.

Para poder llevar a cabo esta propuesta es necesario coleccionar el agua proveniente de la lavadora, almacenarla y darle el tratamiento correspondiente, después de ser tratada, enviarla a los sanitarios para usarla en la descarga de inodoros. Las construcciones donde se considere la propuesta deben contemplar la instalación de tubería independiente para la salida de las lavadoras y para recibir en los sanitarios el agua tratada, por lo que se propone la instalación en nuevos proyectos de construcción.



La planta de tratamiento de aguas grises considera el uso de electrocoagulación como técnica para la remoción de contaminantes, en el capítulo II se describe la técnica, los procesos electroquímicos presentes y las ventajas y desventajas del uso de electrocoagulación como tratamiento de aguas residuales.

En la elaboración del trabajo se presenta el desarrollo de la ingeniería conceptual, diseñando la planta de tratamiento de aguas grises, junto con una elaboración de modelos tridimensionales que permiten visualizar la idea final y el diseño de la planta.

Como parte de la ingeniería conceptual, se han creado documentos entregables que juntos representan el diseño de la planta, estos documentos que conforman el diseño son las bases de diseño que se presentan en el capítulo III, los criterios de diseño presentados en el capítulo IV, el diagrama de flujo de proceso que se muestra en el capítulo V, el diagrama de tubería e instrumentación en el capítulo VI, las hojas de datos en el capítulo VII y el modelado tridimensional que se desarrolla en el capítulo VIII, cada capítulo además del documento entregable describe la función y el contenido que conlleva cada documento. En el anexo I se desglosa el estimado económico del proyecto.

## **OBJETIVO.**

El objetivo de este trabajo es desarrollar la ingeniería conceptual para una planta de tratamiento de aguas grises, provenientes del uso de lavadoras domésticas, es decir desarrollar documentos entregables que describan de forma preliminar a la planta para ser considerado un proyecto viable y así sentar las bases para desarrollar la ingeniería básica del proyecto. La finalidad del agua tratada en la planta será reutilizar el agua en sanitarios y así fomentar el cuidado y reúso del agua.

## **OBJETIVOS PARTICULARES.**

- Proporcionar información global del uso y reúso del agua que permita la elaboración de bases y criterios de diseño para construir los entregables de la planta.
- Llevar a cabo a nivel laboratorio la experimentación necesaria para generar un diagrama de flujo de proceso preliminar junto con un balance de materia y una secuencia de equipos posibles.
- Dimensionar y realizar un estudio preliminar del costo de los equipos principales, generar los documentos entregables en la etapa de ingeniería conceptual, tales como: bases de diseño, criterios de diseño, Diagrama de flujo de proceso, Diagrama de tubería e instrumentación, y las Hojas de datos correspondientes.
- Utilizar el programa de diseño tridimensional 3D MAX para realizar un modelo tridimensional que permita visualizar la planta en su totalidad de una forma más precisa.

*Capítulo I.*  
***ANTECEDENTES DE LA  
PLANTA.***

---

## 1.1 EL AGUA, RECURSO VITAL DE LA HUMANIDAD.

Los seres humanos contamos con diversos recursos naturales vitales para nuestra existencia, pero pocos tan valiosos como lo es el agua, ya que sin este líquido no podría derivarse ningún tipo de proceso, artificial o natural.<sup>20</sup>

Mencionar la importancia del agua es sumamente necesario ya que el uso del agua ha sido vital para conseguir grandes avances tecnológicos, prácticamente en todos los campos de la ciencia se utiliza el agua, ya sea como vapor o líquida el agua es esencial para un gran número de equipos como turbinas, calderas, calentadores etc.

La preocupación por cuidar el agua comienza a tomar importancia, mucho tiempo atrás se ha tratado de establecer consciencia en el ser humano, procurando que se de uso correcto a este líquido vital, pero es justo en estos tiempos modernos cuando la escases mundial de agua y la reducción exponencial que ha sufrido en los últimos años preocupa a la población, por ello se busca implementar campañas, técnicas y protocolos que ayuden al cuidado del agua y reducir el desperdicio de la misma.<sup>20</sup>

En la superficie de la Tierra hay unos 1.386.000.000 km<sup>3</sup> de agua, el 97% de esta, es agua salada la cual se encuentra distribuida en mares y océanos principalmente, el 3% del volumen restante corresponde a agua dulce. De este 3% solo el 1% se encuentra en estado líquido, el otro 2% se encuentra en estado sólido en capas y plataformas de hielo.<sup>19</sup>

Los seres humanos utilizamos alrededor del 54% del agua dulce del planeta, este porcentaje se divide principalmente en dos campos, el 20% se utiliza para la manutención de fauna y flora, el 34% restante se utiliza de la siguiente manera:

- 70% en irrigación
- 20% en la industria
- 10% en las ciudades y hogares.

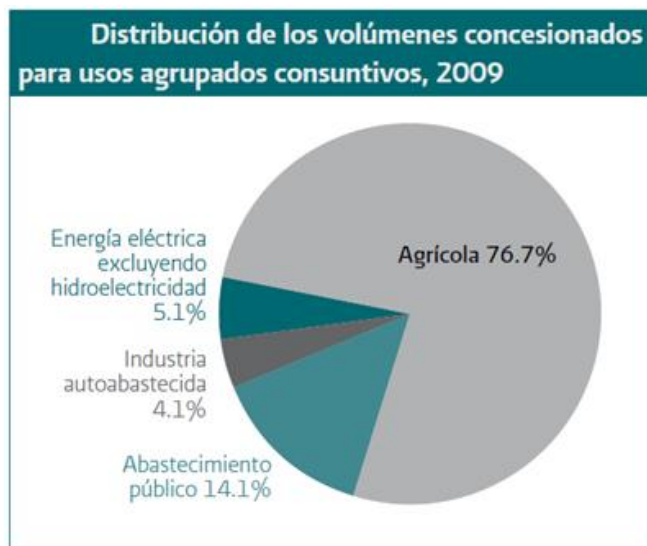
El último 10% del agua utilizada en casas y hogares es muy relativo, ya que a nivel mundial no se distribuye de forma equitativa. Según datos de la ONU 884 millones de personas carecen de acceso al agua potable y más de 2.600 millones de personas no tienen acceso al saneamiento básico.<sup>19</sup>

En México el agua se obtiene como se muestra en la figura 1.1:



Este gráfico presenta la cantidad de agua que se distribuye proveniente de una fuente superficial y la cantidad de agua distribuida de una fuente subterránea.

Figura 1.1 Evolución del volumen concesionado para usos consuntivos por tipo de fuente. (CONAGUA, 2010)



En este gráfico se muestra la distribución total del agua en el distrito federal, la distribución se presenta por grupos consuntivos, es decir, según el campo donde se emplea.

Figura 1.2 Distribución de los volúmenes concesionados para usos agrupados consuntivos, 2009. (CONAGUA, 2010)

Usos consuntivos agrupados, según origen del tipo de fuente de extracción, 2009				
Uso	Origen		Volumen total (km <sup>3</sup> )	Porcentaje extracción
	Superficial (km <sup>3</sup> )	Subterráneo (km <sup>3</sup> )		
Agrícola <sup>a</sup>	40.9	20.9	61.8	76.7
Abastecimiento público <sup>b</sup>	4.3	7.1	11.4	14.1
Industria autoabastecida <sup>c</sup>	1.6	1.7	3.3	4.1
Energía eléctrica excluyendo hidroelectricidad	3.6	0.4	4.1	5.1
<b>Total</b>	<b>50.5</b>	<b>30.1</b>	<b>80.6</b>	<b>100.0</b>

Nota: 1 km<sup>3</sup> = 1 000 hm<sup>3</sup> = mil millones de m<sup>3</sup>.  
 Los datos corresponden a volúmenes concesionados al 31 de diciembre de 2009. Las sumas pueden no coincidir por el redondeo de cifras.  
<sup>a</sup> Incluye los rubros agrícola, pecuario, acuicultura, múltiples y otros de la clasificación del REPDA. Incluye asimismo 1.30 km<sup>3</sup> de agua correspondientes a Distritos de Riego pendientes de inscripción.  
<sup>b</sup> Incluye los rubros público urbano y doméstico de la clasificación del REPDA.  
<sup>c</sup> Incluye los rubros industrial, agroindustrial, servicios y comercio de la clasificación del REPDA.

En la figura 1.3 se agrupan los datos del agua utilizada según el tipo de fuente (superficial o subterránea) y la forma en que se distribuye por sector.

Figura 1.3 Usos consuntivos agrupados, según origen del tipo de fuente de extracción. (CONAGUA, 2010)

## 1.2 AGUAS GRISES.

Las aguas grises son las aguas que resultan del uso doméstico, tales como el lavado de utensilios y de ropa así como el baño de las personas.

Las aguas grises se distinguen de las aguas negras, contaminadas con desechos del inodoro, porque no contienen bacterias procedentes de la “Escherichia coli”. Las aguas grises son de vital importancia, porque pueden ser de mucha utilidad en el campo del regadío ecológico.

Las aguas grises generalmente se descomponen con mayor velocidad que las aguas negras y tienen mucho menos nitrógeno y fósforo. Sin embargo, las aguas grises contienen algún porcentaje de aguas negras, incluyendo patógenos de varias clases como lo son virus, bacterias, protozoarios y helmintos<sup>10</sup>.

Las aguas grises recicladas de la bañera o tina de baño pueden ser utilizadas en los retretes, lo que ahorra grandes cantidades de agua. Los pioneros en la depuración de aguas fueron los israelíes, que llevan 15 años investigando sistemas de reaprovechamiento de aguas

usadas. Sin embargo, las aguas grises sin tratar no pueden utilizarse para la descarga del excusado ya que generan malos olores y manchas si se dejan más de un día.<sup>22</sup>

Estas aguas grises comprenden entre 50 y 80% de las aguas residuales residenciales y se puede usar para otras actividades que no requieren agua de calidad potable.<sup>22</sup>

Debido a que la demanda de agua crece constantemente, es necesario invertir en enormes proyectos de infraestructura, tanto para su distribución en las áreas residenciales, como para su tratamiento al entrar y salir de las casas. Para evitar estos altos costos, es preciso aprovechar el agua al máximo y reducir nuestra demanda personal.

Ventajas de la utilización de aguas grises.<sup>22</sup>

- Menor consumo de agua potable. El agua gris puede reemplazar al agua potable fresca para muchos usos en el hogar. Esto le ahorra dinero a los municipios en costos de distribución, mantenimiento, tratamiento e infraestructura, y aumenta el suministro efectivo en muchos casos.
- Menor estrés sobre fuentes naturales de agua. Al reducir la demanda de agua, disminuye la extracción de los sistemas naturales y así se evita la degradación ambiental.
- Menor cantidad de aguas residuales que necesitan ser tratadas en los municipios o en los tanques sépticos. El uso de aguas grises aumenta el ciclo de vida y la capacidad de los tanques sépticos.
- Ahorro de energía y químicos en el tratamiento. Si se aprovechan las aguas grises en el hogar, se bombea menos agua y también es un incentivo para reducir el uso de productos contaminantes, como detergentes; además, será menor la cantidad que necesita tratamiento (tanto al entrar como al salir del hogar).
- Aprovechamiento en el jardín y áreas verdes. Si aprovechas el agua gris en tu casa, puedes mantener verde tu jardín, aunque vivas en regiones secas o sean tiempos de sequía.

## Precauciones.<sup>22</sup>

- *Contacto.* Cuando se trabaja con aguas grises es importante usar guantes. La tubería y las mangueras del sistema de aguas grises o las cubetas y regaderas que se usan para su manejo deben estar correctamente etiquetadas.
- *Microorganismos en el aire.* Las aguas grises nunca se deben de aplicar con sistemas de aspersión, pues algunos microorganismos pueden quedar suspendidos en el aire y ser aspirados por humanos.
- *Microorganismos dañinos en las plantas.* La aplicación directa de agua gris sin tratamiento sobre las hojas puede dejar microorganismos dañinos en las plantas. Por esta razón es preferible evitar regar con aguas grises áreas grandes de pasto, frutas o verduras que se consumen crudas. Cuando se usan aguas grises es mejor regar directamente en la tierra. El agua gris se puede usar para los árboles frutales si se aplica directamente sobre la base de estos.
- *Contaminación de las aguas superficiales.* Si las aguas grises no se filtran a través de la tierra, pueden contaminar cuerpos de agua fresca cercanos. Por esto se debe evitar el escurrimiento directo de estas aguas a los ríos y lagos.
- *Contaminación química en las aguas grises.* La purificación biológica no remueve toxinas industriales (p.ej. provenientes de productos de limpieza). Éstas son absorbidas por las plantas y la tierra, y penetran hacia los acuíferos, contaminándolos. Muchos productos de limpieza caseros no son adecuados para ser introducidos a la naturaleza y es mejor dejarlos ir con las aguas negras. Las aguas grises nunca se deben de beber. Se deben mantener en un lugar alejado de los niños y las mascotas, para evitar su contacto.
- *Almacenamiento.* Nunca se debe de almacenar aguas grises por más de 24 horas, pues las bacterias se reproducen rápidamente y pueden llegar a ser un riesgo para la salud.



### 1.3 TRATAMIENTOS PARA AGUAS GRISES.

Hoy en día la humanidad se enfrenta a lo que podría ser uno de los mayores problemas en este siglo XXI, y es la imperiosa necesidad de proveer agua a una población que crece desmesuradamente.<sup>20</sup>

Se debe satisfacer la demanda de agua potable, agua para riego, agua para usos industriales, así como agua para llevar a cabo todas las actividades del hogar.

Mientras la población crece, la demanda de agua va en aumento en relación con el agua disponible, generando una sobreexplotación del recurso, sin mencionar todas las fuentes de agua que se contaminan día con día por descargas industriales, actividad antropogénica y procesos naturales.<sup>17</sup>

Muchas regiones del planeta, en general las que cuentan con un desarrollo bajo y un capital menor, sufren por la escasez de agua, mientras que en otras el problema no es la falta del recurso, sino su mala gestión y distribución, además de los métodos empleados para ello. Es por esto que uno de los mayores desafíos que enfrenta hoy en día la humanidad es el de proporcionar agua, principalmente potable, a la inmensa mayoría de población. Otro reto importante es aprender a utilizar y tratar de mejor manera el agua que consumimos y producimos.<sup>22</sup>

Operaciones como el reúso y la recirculación, forman parte de las estrategias de manejo de agua, sin embargo, es necesario que los tratamientos realizados a los efluentes sean adecuados, es decir, que sean eficientes, con bajos costos y que traigan ventajas al medio ambiente. Por esto es necesario implementar nuevas técnicas que compitan adecuadamente con las ya existentes, las cuales son técnicas biológicas y procesos electroquímicos, de estos últimos los más comunes son la filtración, intercambio iónico, ultrafiltración, electrodiálisis, entre otros.<sup>14</sup>

Hoy en día han emergido una serie de tecnologías basadas en la electroquímica y que actualmente se presentan como alternativas con grandes ventajas para competir contra tecnologías tradicionales. Dentro de este grupo de técnicas electroquímicas se pueden mencionar la electrocoagulación y la electroflotación, esta última utiliza floculantes en su proceso, mientras que la electrocoagulación no lo hace.

## 1.4 DATOS SOBRE LA RECOLECCIÓN DEL AGUA PROVENIENTE DE LAVADORA.

En algunos casos, el agua que sale de la lavadora se puede redirigir, ya sea para su recolección manual o para su almacenamiento (temporal) y uso posterior. Ésta es una fuente excelente de agua que tiene calidad suficiente para varios usos en el hogar.

Para optimizar el uso de esta agua en el jardín, busca detergentes bajos en fósforos que sean biodegradables y, de preferencia, ecológicos. Hay que cuidar que el agua de la lavadora no esté muy caliente cuando se riegue el jardín.

En general las aguas grises solo se envían a drenaje sin darles un tratamiento previo, las aguas provenientes de lavadora tienen un alto porcentaje del total de aguas grises que se producen en los hogares, colocándose estas por debajo del agua que se utiliza en las regaderas y lavabos.

La finalidad de tratar estas aguas, es reutilizarla en la descarga de sanitarios, ya que estos suelen usar para su descarga el agua proveniente del suministro de agua potable gubernamental. A pesar de ser este el objetivo de reúso, el agua tratada puede ser utilizada, entre otras actividades, para riego, lavado de autos y labores de limpieza en el hogar.

Para mostrar un panorama de la cantidad de agua utilizada en el lavado de los hogares y la frecuencia de lavado se han recolectado algunos datos obtenidos por diversas dependencias gubernamentales y privadas, que nos permiten apreciar la importancia de reutilizar el agua proveniente de lavadoras.

Las siguientes tablas presentan las características globales de diversas lavadoras.

### Lavadoras automáticas con capacidad de carga de 9 a 10 kg

Marca / Modelo / País de origen / Sistema de lavado	Garantía (Años)	Capacidad de carga (kg)		Consumo de agua (litros)		Consumo de energía por ciclo completo (W/h)	Duración de un ciclo completo de lavado (minutos)	Eficiencia de lavado	Eficiencia de enjuague	Eficiencia de exprimido	Atributos y características	Evaluación global de calidad
		Declarada	Recomendada para un lavado eficiente	Sólo etapa de lavado	Ciclo completo							
LG / WF-S1061TP / Corea / Impulsor	3	10	5.0	91	176	155	37	MB	MB	B	a(4), c(3), d(4), e, h, n.	MB
Maytag / MAH5500BWW / EU / Tambor	1	10	4.8	30	73	169	80	B	B	MB	a(6), b, C(4), e, h, i, j, m, n, p, s	MB
Whirlpool / 7MWT74500SQ / EU / Agitador	1	10	4.5	81	146	356	26	MB	MB	B	a(7), c(3), d(3), g, j, n	MB
Koblenz / LAK912R / México / Agitador	3	9	4.2	73	145	198	23	B	MB	B	a(12), c(4), d(4), e, k(3), o(C)	B
Koblenz / LAK910 / México / Agitador*	3	9	4.2	75	150	182	24	B	MB	B	a(12), c(4), d(4), e, k(3), o(C)	B
Samsung / WA11D3 / México / Impulsor	3	10.5	4.9	107	257	172	70	B	E	B	a(5), c(2), d(4), e, h, n, o(P), p, q	B

E = Excelente MB = Muy bien B = Bien R = Regular P = Pobre

Figura 1.4 Lavadoras Automáticas con carga de 9 a 10 kg. (PROFECO, 2007)

### Lavadoras automáticas con capacidad de carga de 11 a 12 kg

Marca / Modelo / País de origen / Sistema de lavado	Garantía (Años)	Capacidad de carga (kg)		Consumo de agua (litros)		Consumo de energía por ciclo completo (W/h)	Duración de un ciclo completo de lavado (minutos)	Eficiencia de lavado	Eficiencia de enjuague	Eficiencia de exprimido	Atributos y características	Evaluación global de calidad
		Declarada	Recomendada para un lavado eficiente	Sólo etapa de lavado	Ciclo completo							
EASY / LAE11040PB / México / Agitador	1	11	5.7	109	210	176	45	MB	MB	B	a(6), c(5), d(5), f, i, k, n	MB
EASY / LJE12400PB / México / Agitador	1	12	5.9	103	196	178	46	MB	MB	B	a(6), c(5), d(5), f, h, i, k, n, o(C)	MB
Whirlpool / 7MWT96760SW / EU / Agitador	1	12	5.4	100	186	402	28	E	MB	B	a(14), c(5), d(5), g, j, n, s	MB
GE / TL1230PLS / México / Agitador	1	12	4.9	106	201	213	32	MB	MB	R	a(6), c(5), d(5), f, h, i, n	B
GE / WGFL1226PWW / China / Tambor	1	12	5.9	31	79	801	87	MB	R	E	a(8), c(5), e, h, i, j, l, m, n, o(C), p, q, r, s	B
Koblenz / LAS1210I / EJA / Agitador	3	12	5.7	101	179	259	23	B	MB	B	a(10), c(3), d(3), e	B
LG / WD-12270BD / Corea / Tambor	3	12	6.4	29	108	548	109	B	MB	E	a(7), c(5), e, h, i, j, l, m, o(C), p, r, s	B
Maytag / MAV5920EWW / EU / Agitador	1	12	6.0	79	157	377	31	MB	B	R	a(5), c(4), d(5), e, i, j, l, n, s	B
Samsung / WA14L5W / México / Impulsor	3	12.5	5.5	94	266	204	85	B	E	B	a(6), c(2), d(6), e, h, n, o(C), p	B
Whirlpool / 7MGHW9150 / EU / Tambor	1	12	5.9	37	82	234	87	B	B	MB	a(5), c(3), e, h, i, j, l, m, n, o(C), q, s	B
Daewoo / DWC-ED1212 / Corea / Tambor	3	12	5.1	20	62	545	109	B	R	MB	a(9), c(5), e, h, i, j, m, n, o(C), p, q, r	R

Figura 1.5 Lavadoras automáticas con capacidad de carga de 11 a 12 kg. (PROFECO, 2007)

### Lavadoras automáticas con capacidad de carga de 13 a 14 kg

Marca / Modelo / País de origen / Sistema de lavado	Garantía (Años)	Capacidad de carga (kg)		Consumo de agua (litros)		Consumo de energía por ciclo completo (W/h)	Duración de un ciclo completo de lavado (minutos)	Eficiencia de lavado	Eficiencia de enjuague	Eficiencia de exprimido	Atributos y características	Evaluación global de calidad
		Declarada	Recomendada para un lavado eficiente	Sólo etapa de lavado	Ciclo completo							
Frigidaire / GLTF2940ES / EU / Tambor	1	14	5.5	30	107	197	72	B	MB	E	a(12), c(4), e, h, i, j, n, o(C)	MB
Frigidaire / GLWS1749AS / EU / Agitador	1	14	5.5	88	163	317	30	MB	MB	MB	a(9), c(4), e, j	MB
Mabe / LMA1383PB / México / Agitador	1	13	5.3	102	218	194	34	MB	MB	B	a(6), c(5), d(5), f, h, i, n, o(C), s	MB
Samsung / WF316LAS / Corea / Tambor	3	14	5.9	34	85	325	72	B	MB	E	a(10), b, c(5), e, h, i, j, k, l, n, o(C), p, q, r, s	MB
Daewoo / DWF-260NS / Corea / Impulsor	3	13	5.5	110	205	144	34	B	MB	B	a(6), c(3), d(7), e, n, p	B

E = Excelente MB = Muy bien B = Bien R = Regular P = Pobre

Figura 1.6 Lavadoras automáticas con capacidad de 13 a 14 kg. (PROFECO, 2007)

De las tablas anteriores podemos estimar algunos datos importantes acerca del consumo de agua en una lavadora doméstica<sup>17</sup>.

- Un ciclo de lavado utiliza en promedio de 150 a 200 litros de agua.
- Una familia lleva a cabo alrededor de 6 ciclos de lavado por semana.
- Esto es entre 900 y 1200 litros por semana, cerca del 12% del uso total de agua en una semana en una vivienda.

## **1.5 DATOS SOBRE EL CONSUMO Y DISTRIBUCIÓN DEL AGUA EN MÉXICO.**

El suministro de agua en México se puede desglosar de la siguiente manera. El 98% de los municipios y delegaciones tienen servicio de agua potable suministrada a través de una red pública; de éstos, 78% cuentan con servicio de alcantarillado de red pública; y de éstos últimos, el 37% da tratamiento al menos a una parte de sus aguas residuales, lo que permite cerrar de mejor manera el ciclo urbano del agua.<sup>15</sup>

El suministro de agua para la población inicia con la extracción de agua de fuentes subterráneas y superficiales mediante tomas. En México 77% de las tomas en operación se localiza en pozos; en el 47% de éstas existe un macro medidor funcionando, lo que permite cuantificar la cantidad de agua que se extrae.<sup>16</sup>

De las aguas residuales de los 2 mil 456 municipios del país en 1 470 sitios reciben algún tipo de tratamiento para reducir la carga contaminante; 58% de estos sitios realiza una depuración de tipo primario, incluyendo procesos como lagunas de aireación, fosas sépticas o humedales, entre otros.<sup>15</sup>

En 2010, año de referencia de la información, se registraron 2 354 sitios de descarga de aguas residuales sin tratamiento; el 54% de éstas se localiza en ríos y arroyos.<sup>15</sup>

De acuerdo con los datos recolectados sobre el consumo de agua en viviendas se puede considerar lo siguiente.<sup>12, 15</sup>

- En promedio las familias se componen de 4 personas.
- Actualmente se utilizan de 8 a 10 litros por descarga en inodoros.
- Por persona se registran alrededor de 5 descargas por día
- El uso de agua en descarga de inodoros representa aproximadamente el 15% del consumo total de agua en una vivienda.
- El uso de agua en lavabos representa el 18% del consumo de agua en viviendas.
- El uso en regaderas representa el 34% del consumo.

En general en todas las viviendas, se utiliza el agua suministrada por el sistema de aguas de la ciudad de México, la calidad del agua que se suministra esta dentro de los parámetros de agua potable, es decir los habitantes usamos agua potable para todas las actividades que requieren uso de agua en una vivienda, y aunque muchas de estas actividades lo requieren hay otras actividades en las que podría usarse agua tratada, como en el riego de jardines, lavado de autos, limpieza del hogar y la descarga de sanitarios.

De empezar a utilizar agua tratada para estas actividades, reduciríamos el uso de agua corriente y además de reducir el gasto de agua potable, generaríamos un ahorro económico en el servicio de agua.

## **1.6 DATOS PARA EL ESCALAMIENTO Y LA CONSTRUCCIÓN.**

Reutilizar las aguas grises representa un gran ahorro de agua potable, pero esto presenta una gran dificultad ya que no es fácil redirigir el agua gris que se produce. Los sistemas de drenaje y alcantarillado de las casa están diseñados para enviar las aguas grises al drenaje y juntarlo con las aguas negras, lo que hace más difícil su tratamiento.

El objetivo de esta planta va mas allá de solo tratar aguas grises, contempla también la reestructuración del sistema de tuberías, de modo que se puedan dirigir las aguas grises a un tratamiento independiente de las aguas negras.

Por lo anterior es necesario instalar la planta en unidades o conjuntos habitacionales, edificios o cualquier conjunto de viviendas que esté por construirse. Lo anterior es importante ya que si la obra está por construirse, es posible considerar dentro de su planeación, la instalación de una red de tubería que dirija el agua de lavadoras a la planta de tratamiento, la cual sería instalada dentro de los límites de la obra.

Con la finalidad de justificar el diseño original de la planta y fortalecer la idea de generar más viviendas con una red de tubería independiente aún en condominios ya existentes, se recabaron los siguientes datos de unidades habitacionales en el Distrito Federal.

Como panorama general del desarrollo urbano en la ciudad de México se han recolectado las siguientes cifras del Instituto Nacional de Estadística y Geografía:

- Existen alrededor de 7300 unidades habitacionales construidas y habitadas<sup>18, 24</sup>.
- Se reportan alrededor de 11,000 a 12,000 viviendas en edificios y conjuntos<sup>18, 24</sup>.
- En promedio hay de 20 a 30 departamentos por torre o edificio.<sup>18, 24</sup>

Con los anteriores datos recolectados del consumo de agua y de los condominios presentes en la Ciudad de México podemos determinar la magnitud que tendría recolectar y tratar el agua gris de estos condominios.

Podemos considerar que en promedio hay 700,000 viviendas en algún tipo de condominio en el Distrito Federal, por lo que considerando la cifra del consumo de agua de lavadora en cada vivienda (entre 900 y 1200 litros por semana) se recolectarían cerca de 100,000 m<sup>3</sup> de agua proveniente de lavadoras por día.<sup>18</sup>

La situación actual se torna grave en materia de recursos naturales, el reúso de agua es vital para generar una mejor calidad de vida y poco a poco compensar el desperdicio de agua en el mundo, y particularmente en México.<sup>27</sup>

*Capítulo II.*  
*PRESENTACIÓN DE LA*  
*TÉCNICA DE*  
*ELECTROCOAGULACIÓN.*

---

## 2.1 EVOLUCIÓN DE LA ELECTROCOAGULACIÓN.

La electroquímica es una ciencia que nace a finales del siglo XVIII con los trabajos de Galvani y Volta, y ha tenido desarrollos y aplicaciones en múltiples áreas. Podemos mencionar su uso en el arranque de los motores de los automóviles, en procesos de síntesis química y métodos para la eliminación de la contaminación.

La electrocoagulación ha sido una tecnología emergente desde 1906, con la primera patente concedida en Estados Unidos. Problemas de tipo financiero o de regulación de incentivos generaron tropiezos para que la industria adoptara esta técnica.

Desde el siglo XIX, exactamente en 1888, se efectuó el primer ensayo reportado en Londres por Webster. Su proceso utilizaba ánodos de hierro soluble, con una caída de potencial de 1.8 vatios entre los electrodos, distantes una pulgada, y una corriente anódica de 0.6 Amp/pie<sup>2</sup>. Sus trabajos solo fueron reportados a nivel laboratorio y mantenían como objetivo la remoción de sólidos presentes en disoluciones, particularmente en agua.<sup>14</sup>

En 1893, Wolff electrolizó una solución concentrada de sal para producir cloro y soda cáustica, que utilizaba para esterilizar aguas negras en Brewster, Nueva York. En 1896 se usó en Louisville, Kentucky, una modificación del proceso de Webster para coagular agua cenagosa del río Ohio, proceso en el que se utilizaron ánodos de hierro y aluminio. En 1908 el proceso Webster se utilizó en Santa Mónica, con reducciones de 40% de materia orgánica en el tratamiento de aguas negras.<sup>14</sup>

En 1914 se utilizó en New York una modificación del proceso Webster llamado Landreth. En éste se añade cal para mejorar la conductividad del electrolito. En 1932 fue utilizada la electrocoagulación en Alemania, con eficiencias del 50% en reducción de la DBO de aguas residuales. La falla de estos procesos se dio por el alto costo de la energía y la necesidad de recambiar los electrodos<sup>14</sup>.

En 1947, en la Unión de Repúblicas Socialistas Soviéticas, se utilizó el proceso con electrodos de hierro para formar hidróxido ferroso, obteniendo remociones de 70% al 80% para la DBO en aguas residuales.<sup>14</sup>



Unos años más tarde, en 1958, el profesor Mendía, de la Universidad de Nápoles, utilizó esta técnica para desinfectar las aguas negras de ciudades costeras. En este proceso se mezcló 25% al 30% en volumen de agua de mar antes de la electrólisis para mejorar la conductividad eléctrica.

En Noruega, Föyn combinó 20% de agua de mar con las aguas residuales en la electrólisis para la remoción de fosfato, utilizando electrodos de carbón. Aunque la eficiencia del proceso fue buena, hubo problemas de corrosión.<sup>14</sup>

Durante las dos últimas décadas se han reportado trabajos en donde se utiliza el proceso para remover partículas dispersas de aceite, grasa y petróleo en el tratamiento de aguas residuales provenientes de procesos de electroplateado, textiles y en procesos de potabilización del agua misma, entre otros.

La industria textil ha sido la más beneficiada por esta técnica, las remociones han llegado casi al 98% en la turbidez y alrededor del 70% en DQO.

Por otro lado el tratamiento de aguas residuales en la industria alimenticia, particularmente en el campo de desarrollo de gelatinas, han mostreado un interesante avance en la remoción de grasas vegetales y aceites, consiguiendo una remoción del 70% en DQO.

En el campo de lavanderías industriales se ha conseguido una disminución en la turbidez de casi el 90%.<sup>13, 14</sup>

## **2.2 LA ELECTROCOAGULACIÓN.**

La electrocoagulación es una técnica utilizada para el tratamiento de las aguas residuales, los contaminantes son removidos aplicando el principio de coagulación, pero en este caso no se hace uso de un coagulante químico.

Podemos entonces definir la electrocoagulación como un proceso en el cual son desestabilizadas las partículas de contaminantes que se encuentran suspendidas, emulsionadas o disueltas en un medio acuoso, induciendo corriente eléctrica en el agua a través de placas metálicas paralelas de diversos materiales, siendo el hierro y el aluminio los más utilizados.<sup>9</sup>

La corriente eléctrica proporciona la fuerza electromotriz que provoca una serie de reacciones químicas, cuyo resultado final es la estabilidad de las moléculas contaminantes. Por lo general este estado estable produce partículas sólidas menos coloidales y menos emulsionadas o solubles. Cuando esto ocurre, los contaminantes forman componentes hidrofóbicos que se precipitan o flotan, facilitando su remoción por algún método de separación secundario. Los iones metálicos se liberan y dispersan en el medio líquido y tienden a formar óxidos metálicos que atraen eléctricamente a los contaminantes que han sido desestabilizados.<sup>9</sup>

Es importante aclarar que la documentación existente de este proceso, ha surgido a partir de diversos experimentos en laboratorios y plantas piloto, y la literatura que se puede consultar respecto al tema se basa únicamente en comparar los trabajos reportados. Esto se ha dado en parte por la reputación que ha adquirido la electrocoagulación como tecnología demandante de electricidad al ser la fuente energética del proceso.<sup>9, 14</sup>

En los últimos años, y debido a la imperante necesidad de investigar, adaptar e implementar tecnologías eficientes en la remoción de contaminantes de diversas aguas residuales, se ha vuelto a considerar la electrocoagulación como alternativa viable en el tratamiento de los efluentes líquidos, cobrando un importante interés científico e industrial, con lo que será posible avanzar y desarrollar todas las dudas que ha dejado esta tecnología rezagada durante varias décadas<sup>10</sup>.

Es así como los científicos se enfrentan al reto de investigar los parámetros que controlan el proceso de electrocoagulación de manera organizada y sistemática, de una forma que permita diseñar el proceso en su totalidad, desde su requerimiento de energía hasta su reactor para así optimizarlo, adaptarlo y aplicarlo, ubicando dicho proceso como una tecnología de punta que brinde sus ventajas en la protección y conservación del recurso hídrico.

La electrocoagulación ha sido probada en la potabilización de aguas.<sup>9, 10</sup> Es importante resaltar que el paso de la corriente eléctrica a través del agua a tratar tiene efecto desinfectante en cuanto que destruye, en porcentajes por encima del 99%, los microorganismos presentes en el agua.

En esta misma aplicación se ha venido estudiando la electrocoagulación con buenos resultados en el tratamiento de aguas para consumo humano contaminadas con arsénico, contaminación ésta que puede afectar la salud de la población mundial ya que puede ocurrir en cualquier región o país.<sup>11, 14</sup>

También la electrocoagulación ha sido probada en el tratamiento de aguas cuyos contaminantes son materia orgánica, como DBO en aguas residuales domésticas y efluentes de la industria de los colorantes.<sup>11</sup>

Al ser la electrocoagulación una técnica con un joven desarrollo científico, aún genera incertidumbre respecto a sus beneficios comparados con sus riesgos, es por eso que se presenta la siguiente lista de ventajas y desventajas que se tienen en el proceso de electrocoagulación.

Ventajas:<sup>14</sup>

- Los costos de operación son menores comparativamente con algunos de los de procesos convencionales que usan agentes químicos
- Requiere de equipos simples y de fácil operación.
- Elimina requerimientos de almacenamiento y uso de productos químicos.
- Genera lodos más compactos y en menor cantidad, lo que involucra menor problemática de disposición de estos lodos.
- Produce flóculos más grandes que aquellos formados en la coagulación química y contienen menos agua ligada.
- Alta efectividad en la remoción de un amplio rango de contaminantes.
- Purifica el agua y permite su reciclaje.
- El paso de la corriente eléctrica favorece el movimiento de las partículas contaminantes más pequeñas, incrementando la coagulación.
- El agua tratada por electrocoagulación contiene menor cantidad de sólidos disueltos que aquellas tratadas con productos químicos, situación que disminuye los costos de tratamiento de estos efluentes en el caso de ser reusados.
- Puede generar aguas potables, incoloras e inodoras.

- Los contaminantes son arrastrados por las burbujas a la superficie del agua tratada, donde pueden ser removidos con mayor facilidad.

Desventajas:<sup>14</sup>

- Es necesario reponer los electrodos de sacrificio.
- Los lodos contienen altas concentraciones de hierro y aluminio, dependiendo del material del electrodo de sacrificio utilizado.
- Puede ser un tratamiento costoso en regiones en las cuales el costo de la energía eléctrica sea alto.
- El óxido formado en el ánodo puede, en muchos casos, formar una capa que impide el paso de la corriente eléctrica, disminuyendo de esta forma la eficiencia del proceso.

### **2.3 ELECTROQUÍMICA DEL PROCESO.**

En el proceso de electrocoagulación se utilizan placas metálicas que funcionan como electrodos, en ellos al pasarles corriente ocurren una serie de reacciones que forman iones positivos y negativos. En el ánodo se forman los iones metálicos, este electrodo es el denominado electrodo de sacrificio, ya que la placa metálica se va disolviendo al paso de la corriente, mientras que la placa que funciona como cátodo permanece sin disolverse.

Los iones producidos llevan a cabo la función de desestabilizar las cargas que poseen las partículas contaminantes presentes en el agua, cuando las cargas se han neutralizado, los sistemas que mantienen a las partículas en suspensión desaparecen por lo que se permite la formación de agregados y así iniciar el proceso de coagulación.

Los iones que proveen los electrodos desencadenan un proceso de eliminación de contaminantes que se puede dar por dos vías: la primera por reacciones químicas y precipitación y la segunda por procesos físicos de agregación de coloides, que dependiendo de su densidad pueden flotar o precipitar. <sup>14</sup>

De acuerdo con la ley de Faraday, que rige el proceso de electrocoagulación, la cantidad de sustancias formadas en un electrodo es proporcional a la cantidad de cargas que pasan a través del sistema, y el número total de moles de sustancia formada en un electrodo está relacionado estequiométricamente con la cantidad de electricidad puesta en el sistema.<sup>7</sup>

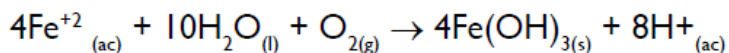
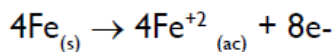
Los materiales más comúnmente utilizados como electrodos en la electrocoagulación son hierro y aluminio, (también son los electrodos utilizados en el diseño del reactor de esta planta).

El proceso de electrocoagulación es afectado por diferentes factores. Entre los más importantes se encuentran la naturaleza y concentración de los contaminantes, el pH del agua residual y la conductividad. Estos factores determinan y controlan las reacciones ocurridas en el sistema y la formación del coagulante.

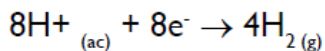
Para el caso en el cual el hierro actúa como ánodo, se han propuesto dos mecanismos que explican la formación de dos posibles coagulantes. Estos pueden ser hidróxido ferroso  $\text{Fe}(\text{OH})_2$  o hidróxido férrico  $\text{Fe}(\text{OH})_3$ .<sup>7</sup>

Formación del hidróxido férrico.

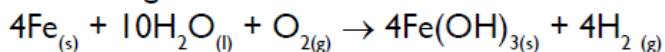
En el ánodo ocurren las siguientes reacciones:



En el cátodo ocurre la reacción:

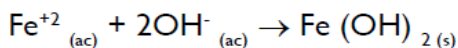
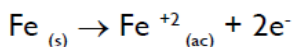


Reacción global:

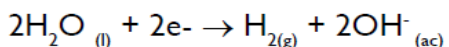


Formación del hidróxido ferroso.

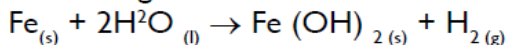
En el ánodo se dan las reacciones:



En el cátodo:



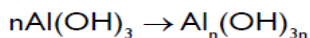
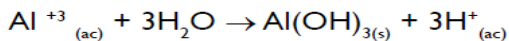
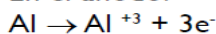
Reacción global:



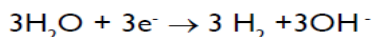
Luego de la formación de los hidróxidos de hierro los coloides se aglomeran, especialmente aquellos con carga negativa, y posteriormente otras partículas de contaminantes interactúan con estos aglomerados, siendo removidos por formación de complejos o atracciones electrostáticas.

Cuando el aluminio funciona como ánodo se presentan las siguientes reacciones.

En el ánodo:



En el cátodo:



Los iones  $\text{Al}^{+3}$  en combinación con los  $\text{OH}^{-}$  reaccionan para formar algunas especies monoméricas como  $\text{Al}(\text{OH})_2^{+}$ ,  $\text{Al}_2(\text{OH})_2^{+}$  y otras poliméricas, tales como  $\text{Al}_6(\text{OH})_{15}^{3+}$ ,  $\text{Al}_7(\text{OH})_{17}^{4+}$ ,  $\text{Al}_8(\text{OH})_{20}^{4+}$ ,  $\text{Al}_{13}\text{O}_4(\text{OH})_{24}^{7+}$  y  $\text{Al}_{13}(\text{OH})_{34}^{5+}$  que por procesos de precipitación forman el  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$ , como se muestra en la reacción del ánodo. El  $\text{Al}(\text{OH})_{3(s)}$  es una sustancia amorfa de carácter gelatinoso, que expone una gran área superficial con propiedades absorbentes y que es propicia para los procesos de adsorción y atracción de las partículas contaminantes.<sup>7</sup>

## 2.4 FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ELECTROCOAGULACIÓN.

- **pH:** El pH influye en la eficiencia del proceso de solubilidad metálica al momento de formar hidróxidos, la variación del pH va fuertemente ligada al tipo de electrodos que se utilicen y al pH original del agua que se vaya a tratar. En general cuando el agua residual tiene un carácter ácido el pH tiende a aumentar y a un carácter básico el pH disminuye. Algunos estudios han determinado que mantener el proceso en un intervalo entre 6 y 8 mejora la eficiencia para reducir turbidez y DQO.<sup>10</sup>
- **Densidad de Corriente:** Los factores eléctricos son los parámetros que más influyen en el proceso, tanto por ser la fuente de energía ligada a la remoción de contaminantes, sino por ser la variable más importante dentro del costo de operación. En general aumentar la densidad de corriente genera un aumento en la remoción del contaminante, pero aumentarla demasiado podría afectar la eficiencia del proceso. Administrar corriente alterna es la mejor forma de garantizar una efectividad adecuada al proceso.<sup>10</sup>
- **Temperatura:** La temperatura es una variable que no ha sido muy estudiada dentro de los procesos de electrocoagulación, sin embargo controlar la temperatura puede mejorar la eficiencia de la corriente eléctrica, esto se logra manteniendo el proceso por debajo de los 60 °C.<sup>10</sup>

La electrocoagulación es una tecnología que si bien no es de nueva aparición, si es una técnica poco estudiada y por lo mismo poco desarrollada, pero sus beneficios son mucho mayores que sus desventajas, sin duda es una tecnología que con el paso de los años seguirá tomando fuerza para generar un uso más común en los procesos de tratamiento de aguas residuales.

## 2.5 JUSTIFICACIÓN EXPERIMENTAL PARA EL DFP.

El escalamiento de esta planta y el diagrama de flujo de proceso preliminar surgen a partir de un desarrollo experimental de electrocoagulación, es importante aclarar que el desarrollo experimental no justifica la eficiencia y efectividad de la técnica, plantea la base para escalar y generar la secuencia de equipos presentes en la planta.

Las propiedades a las que se dio seguimiento fueron el pH, la turbidez y la conductividad. Los resultados obtenidos en la experimentación se presentan a continuación.

Desarrollo del experimento.

El desarrollo experimental fue realizado tomando muestras de 2 litros de agua gris proveniente de una lavadora doméstica la cual fue nuestra muestra en el transcurso del proceso. Para comenzar con un parámetro de referencia, medimos propiedades a una muestra de agua de la llave, las cuales fueron turbidez, conductividad y pH.

Después de obtener el parámetro base, medimos las propiedades antes mencionadas a la muestra de agua sucia con la que trabajamos, después filtramos por gravedad para eliminar de la muestra los sólidos de mayor tamaño, para corroborar si existía algún cambio en las propiedades después del filtrado volvimos a medir turbidez, conductividad y pH. Los valores obtenidos fueron los mismos.

En cada experimentación la muestra se dividió en dos porciones de 1 litro cada una, para poder trabajar a dos condiciones distintas.

La primera muestra tratada con electrocoagulación se depositó en un vaso de precipitados de 2 litros calentada a 48 °C y se agregaron a la muestra 21 g de cloruros con sales inorgánicas, el sistema de reacción se instaló con dos placas metálicas, una de aluminio que funcionó como ánodo y la segunda de hierro que funcionó como cátodo, ambas placas separadas por 5.5 cm. Conectadas a una fuente de poder trabajada a 2.6 A. y 10 V. por un tiempo de 7 minutos.

Cuando la muestra no mostró cambio en transparencia fue retirada la espuma que se aglutinó en la superficie de la muestra, para después filtrar al vacío para retirar de la muestra tratada los sólidos precipitados.

A esta muestra final se le midieron de nuevo conductividad, turbidez y pH.

La segunda muestra se calentó a 69.6 °C se agregaron de nuevo sales inorgánicas, las placas fueron igual de hierro y aluminio con la misma función de cátodo y ánodo, pero ahora a una distancia de 5.6 cm, con trabajo de 3 A. y 5 V. durante 24 minutos, tomando muestras a los 3, 6 y 9 minutos del proceso para medir a estas muestras obtenidas las propiedades mencionadas y determinar una cinética física en el proceso de la electrocoagulación. Después de los 24 minutos de proceso se separó de nuevo la espuma y se filtró la muestra de sólidos precipitados para determinar por última vez propiedades a la muestra



Las condiciones de trabajo se resumen en la siguiente tabla.

**Tabla 2.1. Condiciones experimentales electrocoagulación**

<b>Primera Electrocoagulación</b>	
Amperaje (A)	2.6-2.7
Voltaje (Volt)	9.0-10.0
Distancia entre electrodos (cm)	5.5
Tiempo (min)	5.0 -7.0
T (°C)	48

<b>Segunda Electrocoagulación</b>	
Amperaje (A)	3
Voltaje (Volt)	5
Distancia entre electrodos (cm)	5.6
Tiempo (min)	24
T (°C)	45.5-69.6

Los resultados obtenidos en el trabajo experimental son la base para la propuesta del proyecto, los datos de referencia y los datos obtenidos se presentan en las siguientes tablas.

**Tabla 2.2 Resultados experimentales de electrocoagulación a 2.6 A y 10 V.**

	<b>pH</b>	<b>Conductividad (mS)</b>	<b>Turbidez (NTU)</b>
<b>Agua corriente</b>	7.13	1.391	3.47
<b>Muestra antes de filtrar</b>	7.74	7.67	36.4
<b>Muestra después de filtrar</b>	7.67	7.82	26.3
<b>Después de electrocoagulación</b>	7.3	20.1	3.24

**Tabla 2.3 Resultados experimentales de electrocoagulación a 3 A y 5 V.**

	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
Agua corriente	7.13	1.391	3.47
Antes de filtrar	7.74	7.67	36.4
Después de filtrar	7.67	7.82	26.3
<b>Después de electrocoagulación</b>			
3 min	7.77	30.9	49.7
6 min	7.7	39.5	62
9 min	7.68	38.5	58.3
24 min	7.3	39.3	1.03



**Tabla 2.4 Comparación de ambos procesos de electrocoagulación.**

	pH	Conductividad (mS)	Turbidez (NTU)
Agua corriente	7.13	1.391	3.47
Antes de filtrar	7.74	7.67	36.4
Después de filtrar	7.67	7.82	26.3
Después de 1ra Electrocoagulación	7.3	20.1	3.24
<b>Después de 2da electrocoagulación</b>			
3 min	7.77	30.9	49.7
6 min	7.7	39.5	62
9 min	7.68	38.5	58
24 min	7.3	39.3	1.03
Norma	6.0-9.0	-	< 10

Con los datos obtenidos se propone una secuencia de proceso, un diagrama de flujo, un balance de materia previo que serán presentados en el capítulo V, una filosofía operacional preliminar presentada en el capítulo VI y los equipos requeridos para el proceso que se detallan en las hojas de datos del capítulo VII. La ingeniería conceptual desarrollada no requiere estudios ni desarrollos complejos, son solo versiones preliminares que proporcionan la viabilidad de la propuesta técnica para llevar a cabo el proceso.

*Capítulo III.*  
*BASES DE DISEÑO.*

---

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
	<b>Facultad de Química</b>	Documento: Bases de Diseño	
Capítulo III			

## 1. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.

La constructora de esta nueva unidad habitacional conectará la toma de agua desechada de las lavadoras de cada una de las casas a una tubería principal que la dirigirá al primer tanque de almacenamiento de agua residual.



Una vez que el tanque alcance la capacidad adecuada para el tratamiento, se bombeará el agua hacia una serie de tamices para la remoción de sólidos y espuma; después de haber sido filtrada, el agua pasará a un Electrocoagulador, equipo principal de la planta, en él se llevará a cabo el mayor tratamiento al agua, al removerle el jabón y demás sustancias que contenga.

Posteriormente el agua se bombeará a una segunda sección de tamices para eliminar las posibles partículas coaguladas aun presentes en el agua, para después ser bombeada hacia una tanque de almacenamiento; de este tanque se bombeará de regreso a los registros sanitarios de la unidad habitacional.

La espuma del Electrocoagulador será removida por medio de rastras y pasará a un contenedor adjunto donde será secada para que los sólidos restantes sean entregados a terceros para su tratamiento.

El proceso se llevará a cabo por lotes con una frecuencia de 2 lotes cada semana.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:	
		Revisión:	Documento: BD - 001 - A

 Capítulo III	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>  <b>Facultad de Química</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
		Documento: Bases de Diseño	

## 2. ALCANCES.

Lo que se entregará al final de este proyecto son las bases de diseño, los criterios de diseño, el Diagrama de Flujo de Procesos (DFP), Diagrama de Tuberías e Instrumentación (DTI), maqueta 3D y las hojas de datos de equipos principales que se utilizarán en el proyecto.

## 3. LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.

La planta puede ser instalada en cualquier unidad habitacional, edificio, condominio o cualquier conjunto de casas o departamentos que cuenten con una red de tubería independiente para el envío de aguas grises producto de lavadoras y una red independiente que permita abastecer la caja de descarga de los inodoros en cada departamento. Por lo anterior se contempla que la instalación de la planta de tratamiento debe estar previamente contemplada en la construcción del sistema de tuberías de las viviendas.



El espacio mínimo requerido para la instalación y construcción de la presente planta es de 1600 m<sup>2</sup>,

## 4. NORMATIVIDAD.

### Leyes

**LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLÓGICO Y LA PROTECCIÓN AL AMBIENTE Y SU REGLAMENTO EN MATERIA DE EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL.**

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	BD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"		
		Documento: Bases de Diseño		
Capítulo III	<b>Facultad de Química</b>		Página	3 de 8

Ley publicada en el Diario Oficial de la Federación el 28 de enero de 1988, Última reforma publicada en el DOF el 01 de junio de 2012. Define como Manifestación del Impacto Ambiental; al documento mediante el cual se da a conocer, con base en estudios, el impacto ambiental, significativo y potencial que generaría una obra o actividad, así como la forma de evitarlo o atenuarlo en caso de que sea negativo.

### Normas

- Normas mexicanas en materia de aguas residuales.

#### **NOM-127-SSA -1994**

Salud Ambiental, agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.

#### **NMX-AA-008-SCFI-2000**

Análisis de agua.-determinación del pH- Método de prueba.

#### **NMX-AA-017-1980**

Aguas determinación de color.

- Normas Oficiales Mexicanas de la Secretaría del trabajo y la Prevención Social.



#### **NOM-001-STPS-2008**

Edificios, locales, instalaciones y áreas en los centros de trabajo, condiciones de seguridad.

#### **NOM-002-STPS-2010**

Condiciones de seguridad, Prevención y protección contra incendios en los centros de trabajo.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	BD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
		Documento: Bases de Diseño	
Capítulo III	<b>Facultad de Química</b>		Página 4 de 8

**NMX-AA-038-SCFI-2001**

Análisis de agua.-determinación de turbiedad en aguas naturales, residuales y residuales tratadas.- Método de prueba.

**NMX-AA-093-SCFI-2000**

Análisis de agua.-determinación de la conductividad electrolítica.- Método de prueba.

**NOM-004-STPS-1999**

Relativa a los sistemas de protección y dispositivos de seguridad en la maquinaria y equipo que se utilice en los centros de trabajo.

**NOM-006-STPS-2000**

Manejo y almacenamiento de materiales. Condiciones y procedimientos de seguridad.

**NOM-017-STPS-2008**

Equipo de protección personal, selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

**NOM-022-STPS-2008**

Electricidad estática en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad.



**NOM-026-STPS-2008**

Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

**NOM-029-STPS-2005**

Mantenimiento de las instalaciones eléctricas en los centros de trabajo. Condiciones de seguridad.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:	
		Revisión:	Documento: BD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"		
		Documento: Bases de Diseño		
Capítulo III	<b>Facultad de Química</b>		Página	5 de 8

## 5. DESARROLLO.

### I. Factor de Servicio.

El factor de servicio con el que va a trabajar la planta será de 0.9, es decir 330 días al año.

### II. Capacidad.

La planta será diseñada para satisfacer las necesidades de un complejo habitacional el cual consiste en 100 viviendas tipo casa-habitación. En base a diversos estudios que se han hecho de otros desarrollos habitacionales, se espera tener un gasto de aguas residuales de 51,000 L por lote (dos lotes por semana). La planta será diseñada para tener capacidad de dar tratamiento a 100,000 L por semana.<sup>15, 17</sup>

La Planta se diseñará con un factor de sobre diseño de 50%, con el que se espera hacer frente a un posible aumento en el gasto de agua a tratar.

### III. Especificaciones de la alimentación.

Debido a que en la planta se dará el tratamiento al agua jabonosa proveniente de las lavadoras, no se requiere establecer condiciones en la corriente de alimentación.

### IV. Especificaciones del producto.

El agua que se obtendrá como producto final, recae en la consideración de agua tratada, es decir agua de reúso urbano, la cual será utilizada en la descarga de sanitarios, considerando sanitarios comunes, no ahorradores.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	BD - 001 - A





	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
	<b>Facultad de Química</b>	Documento: Bases de Diseño	
Capítulo III			Página 6 de 8



Tabla 3.1 Parámetros del producto.

Parámetro	Rango
pH	7 -9
Turbidez (NTU)	<2
DBO 5	30 -70

#### V. Flexibilidad.

- **Flujo normal promedio de agua a tratar.** A condiciones normales de trabajo, la planta no requiere describir un flujo de alimentación constante, esto es debido a que se trabaja con un proceso por lotes, una vez recibida la carga de trabajo el proceso comienza, la carga promedio se puede definir como  $50 \text{ m}^3/\text{lote}$  a flujo de  $5 \text{ m}^3/\text{h}$ , considerando un lote por cada 3 días donde solo el primer día se descargan los tanques de alimentación.
- **Flujo mínimo promedio de agua a tratar.** Debido a que se trata de un proceso por lotes no se requiere definir un flujo mínimo, pero para poder comenzar el lote se requiere comenzar con  $37 \text{ m}^3$ , de no cumplir con dicho valor mínimo, la planta no operará.
- **Flujo máximo de agua a tratar.** No es necesario definir un flujo máximo pero se puede definir la carga máxima con la que el proceso puede empezar, esta carga máxima será de  $75 \text{ m}^3$ , en caso de requerirlo el lote se podría llevar a cabo en 2 días.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:	
		Revisión:	Documento: BD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
		Documento: Bases de Diseño	
Capítulo III	<b>Facultad de Química</b>		Página 7 de 8

## VI. Tanques y bombas.

Los tanques y recipientes atmosféricos y a presión se diseñaran de acuerdo a las especificaciones del Código API 650. (Tanques atmosféricos y con presiones internas de hasta 2.5 psi).

Las bombas se diseñarán a partir de código API 610, donde se establecen las bases de diseño para bombas centrifugas.

Cada bomba utilizada en el proceso contará con una bomba de relevo.

## VII. Separación de sólidos.

Para el proceso de separación de sólidos se van requerir equipos de tamizado, con la selección adecuada del número de mallas y diámetro correspondiente a las partículas presentes en la alimentación del tamiz.



## VIII. Electrocoagulador.

La capacidad de diseño del electrocoagulador debe ser de 51 m<sup>3</sup> y de un material con propiedades termoeléctricas adecuadas para el proceso.

La corriente eléctrica requerida para el funcionamiento del electrocoagulador será suministrada por una toma convencional de corriente alterna.

El tanque electrocoagulador deberá tener acopladas aspas de barrido en la parte superior del tanque, conectadas a un motor independiente del motor del electrocoagulador.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:	
		Revisión:	Documento: BD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>  <b>Facultad de Química</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"		
		Documento: Bases de Diseño		
Capítulo III			Página	8 de 8

### IX. Corriente eléctrica.

La corriente eléctrica suministrada debe ser corriente alterna convencional.



### X. Compuestos Auxiliares.

Las Sustancias involucradas en el proceso serán algunas sales inorgánicas como Cloruro de Calcio y Cloruro de sodio para el momento de la electrocoagulación. Hipoclorito de sodio para el mecanismo de remoción de agentes contaminantes.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	BD - 001 - A

# *Capítulo IV. CRITERIOS DE DISEÑO.*

---

 Capítulo IV	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"		
	<b>Facultad de Química</b>	Documento: Criterios de Diseño		

## I. TANQUES Y RECIPIENTES.

### Geometría de recipientes para líquidos.



- La relación entre cabeza y fondos no debe exceder la relación 2:1,
- La relación máxima entre la altura del tanque y el diámetro será 3:2
- La cabeza y fondo del tanque pueden ser de tipo plano o elipsoidal según convenga para el líquido a almacenar.
- A condiciones normales el volumen no deberá exceder el 80% de la capacidad total del tanque.
- De acuerdo al espacio y al costo, se podrá distribuir el almacenamiento en más de 1 tanque.
- El diseño el tanque debe considerar el alcance de barrido de la luz seleccionada para permitir el barrido a todo el líquido.

### Presión.

La presión de trabajo de los tanques de almacenamiento será presión atmosférica. Sin embargo, por razones de seguridad, en la sección de almacenamiento principal se deberá contemplar la siguiente relación:

$$P > 1.1 \cdot P_{atm}$$

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	CD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
	<b>Facultad de Química</b>	Documento: Criterios de Diseño	
Capítulo IV			

### Material de Construcción.

El material de construcción se escogerá dependiendo del líquido a almacenar y de la corrosión que éste provoque al tanque de almacenamiento.

Dependiendo la corrosión del líquido el material puede ser acero estructural grado A, grado B, grado C, o polietileno de alta densidad tipo PEAD o HDPE.

### Espesor del tanque.

El espesor del tanque vendrá dado en función del material seleccionado, considerando la corrosión que el líquido a almacenar produzca.

Para el cálculo de los espesores de almacenamiento, es necesario considerar la tensión máxima admisible del material que se seleccione y el coeficiente de seguridad que se decida aplicar en cada caso.



### II. EQUIPO DE TAMIZADO.

El material para construir el tamiz puede ser acero al carbón, acero estructural, grado A o grado B, o grado C según se requiera.

El número de mallas se seleccionará según el material a filtrar, el número de mallas pueden seleccionarse de un intervalo de 2 a 5 mallas.

La malla seleccionada para filtrar en el tamiz será seleccionada según lo determine el tamaño de partícula presente en la corriente.

Elaborado por:	Aprovado por:	Fecha:	
		Revisión:	Documento: CD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"		
		Documento: Criterios de Diseño		
Capítulo IV	<b>Facultad de Química</b>		Página	3 de 6

La malla adecuada podrá seleccionarse de acuerdo a las medidas estándar del código MESH que establece la relación entre el espesor del alambre y la separación entre los alambres que conforman la malla.

El diámetro del tanque está en relación directa con el caudal de agua que se desea filtrar, utilizándose como referencia un intervalo de filtraje entre 10 y 15 l/s/m<sup>2</sup> de superficie filtrante (debe considerarse que 1m<sup>2</sup> de superficie filtrante equivale a tener un filtro de 1,13 m de diámetro).



De esta manera, para filtrar caudales menores, se requerirá una superficie menor, y por lo tanto, un filtro de diámetro más pequeño.

Las características del medio filtrante que deben considerarse en la filtración son:

- Tipo del medio filtrante
- Características granulométricas del material filtrante;
- Peso específico del material filtrante
- Espesor de la capa filtrante.

En caso de introducir al proceso un segundo tamiz posterior al proceso de electrocoagulación, se debe considerar para el diseño, que las partículas en la corriente serán menores a 10<sup>6</sup> Angstroms.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:			
		Revisión:		Documento:	CD - 001 - A

 Capítulo IV	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"		
	<b>Facultad de Química</b>	Documento: Criterios de Diseño		

### III. ELECTROCOAGULADOR.

#### Geometría del tanque.

- La relación entre cabeza y fondos no debe exceder la relación 2:1
- La relación entre la altura del tanque y los lados será menor a 2:1
- La cabeza y fondo del tanque pueden ser de tipo plano o elipsoidal según sea la geometría de los electrodos.
- A condiciones normales el volumen no deberá exceder el 75% de la capacidad total del tanque.

#### Material.

El material para la construcción del tanque electrocoagulador podrá ser de cualquier variedad de polietileno de alta densidad, de vidrio templado, o cualquier variedad de policarbonato.



#### Selección de electrodos.

Los electrodos seleccionados para el proceso pueden ser de acero, aluminio, hierro, fibra de carbón, o titanio.

El número de electrodos y sus dimensiones se diseñarán de acuerdo a las medidas del tanque, conservando una distancia a las paredes no mayor al 15% de la longitud del tanque y a una altura no mayor al 15% de la altura del tanque.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	CD - 001 - A



	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>  <b>Facultad de Química</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
		Documento: Criterios de Diseño	
Capítulo IV			Página 5 de 6

### Corriente eléctrica.

La corriente eléctrica podrá ser suministrada de las tomas de corriente que se disponga en la zona, el voltaje puede variar entre las tomas convencionales de 110 V. y 220 V.

### Rastras.

El número de rastras y sus respectivas medidas serán diseñadas a partir del diseño previo del tanque electrocoagulador.

El material de las rastras podrá ser de acero al carbón, o acero estructural.

Las rastras deberán ser colocadas de acuerdo a la relación  $0.7h$  con respecto al fondo. Donde  $h$  es la altura de diseño seleccionada para el tanque.

### Tiempo de residencia.



El tanque electrocoagulador podrá operar en un intervalo de 6 a 12 horas según la calidad de la corriente de alimentación.

## IV. BOMBAS

### Potencia y eficiencia.

Las bombas podrán diseñarse considerando una potencia mayor a 1 HP y menor a 2 HP, considerando que la eficiencia no disminuya del 50%.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	CD - 001 - A

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>  <b>Facultad de Química</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
		Documento: Criterios de Diseño	
Capítulo IV			Página 6 de 6

### Flujo.

El flujo de bombeo será menor a  $10 \text{ m}^3/\text{h}$  y mayor a  $2 \text{ m}^2/\text{h}$

### Tipo de bomba.

El tipo de bomba hidráulica se seleccionará según sea la mayor conveniencia tanto económica como para fines del proceso, la selección dependerá de la existencia en el mercado, considerando que cumpla con las especificaciones del proceso.

### Adición de NaClO.

La concentración de hipoclorito de sodio presente en la solución adicionada debe encontrarse entre 3% y 5%.

La adición de hipoclorito debe suministrarse en una proporción de entre 0.4 L a 0.6 L de NaClO por cada 1000 L de agua tratada.

Elaborado por:	Aprobado por:	Fecha:		
		Revisión:	Documento:	CD - 001 - A

*Capítulo V. DIAGRAMA  
DE FLUJO DE PROCESO  
(DFP).*

---

## **5.1 GENERALIDADES DE UN DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO.**

Un diagrama de flujo de proceso o DFP es uno de los documentos que conforman los entregables en un proyecto, este diagrama es una representación gráfica que explica el desarrollo del proceso mediante figuras y líneas aceptadas internacionalmente según lo establecen las normatividades por ejemplo el código ASME Y32-11-1961 “Graphic Symbols for Process Flow Diagrams”.

El diagrama utiliza símbolos que representan a los equipos presentes en el proceso, como tanques, bombas, intercambiadores de calor, filtros, torres, etc. Las corrientes de alimentación, acumulación y salida se presentan como líneas que se conectan a los equipos, estas representan las corrientes y deben ser numeradas.

Un diagrama de flujo de proceso debe contener la representación gráfica, el balance de materia y energía, la lista de los equipos principales con sus características más generales y las notas que sean relevantes para cumplir puntos especiales en el proceso.

## **5.2 INTRODUCCIÓN AL PROCESO.**

Como se ha presentado con anterioridad el problema que representa cuidar el agua es de suma importancia, de igual manera se ha presentado la electrocoagulación como una técnica en vías de desarrollo e investigación. Considerando lo anterior el proyecto se propone diseñar una planta de tratamiento de aguas grises, propiamente el agua que es resultado de las lavadoras domésticas empleando como tratamiento el proceso de electrocoagulación, estas aguas provendrán de las casas o departamentos presentes en la unidad habitacional donde se instale la planta, el agua tratada tiene la finalidad de ser utilizada en la descarga de sanitarios.

## **5.3 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO.**

La planta va a recibir el agua proveniente de lavadoras domésticas, ahí se coleccionarán hasta tener la cantidad suficiente para empezar el proceso. Esta sección de tanques es la sección de almacenamiento principal, en esta sección los tanques contarán con una adición de hipoclorito de sodio como mecanismo de eliminación de microorganismos existentes en el agua.

El mecanismo de adición de ClO presenta algunas ventajas como que es útil para eliminar bacterias, virus y gran porcentaje de helmintos y protozoarios. La efectividad de este método requiere un pH de entre 6 y 9, este intervalo es sumamente adecuado ya que el proceso de electrocoagulación oscila entre 6 y 8, Otra ventaja de eliminar microorganismos mediante la adición de hipoclorito es que no presenta subproductos relevantes en materia de calidad del agua tratada evitando el problema de tener que eliminar residuos peligrosos cuando se usan algunos otros desinfectantes químicos como el cloro gaseoso y las técnicas de plateado, además de ser un método bastante económico y fácil de realizar.

Cuando los tanques en la sección de almacenamiento principal han llegado al volumen correcto el agua es bombeada a una primera sección de filtrado donde por medio de tamices se eliminarán partículas de tamaños considerables en el agua presente, estas partículas pueden ser conglomerados de jabón, pelusas, algún remanente de tela, etc. Esta sección trabaja en paralelo con la siguiente, ya que a medida que se va filtrando el agua se envía al tanque electrocoagulador.

La tercera sección es el núcleo de la planta, el tanque electrocoagulador, en él se recibe el agua después de ser filtrada, en esta sección se lleva a cabo propiamente el proceso de tratamiento.

Antes de empezar el proceso deben agregarse sales inorgánicas que mejoran la conductividad en el agua para después comenzar con el paso de corriente en los electrodos y así se generan flóculos a partir de los iones desprendidos que atraen a las partículas de suciedad y detergentes provocando que suban hasta la superficie. Estos flóculos forman una espuma residual de composición variable que se va juntando en la superficie del agua.

Después de cierto tiempo de acción del electrocoagulador la espuma es removida a un contenedor adjunto por medio del barrido de las rastras, posteriormente es secada para su almacenamiento. Una vez desalojada la espuma se envía el agua a una segunda sección de filtrado.

Las características del funcionamiento del electrocoagulador son las siguientes:

- El material del ánodo será aluminio y el del cátodo será hierro. (las reacciones que se llevan a cabo con esta selección de electrodos se presentan en la electroquímica del proceso descrita anteriormente).
- Las sales que se utilizan son cloruro de calcio y cloruro de sodio.

Al culminar el tratamiento de electrocoagulación el agua se envía a una segunda sección de filtrado compuesta por tamices pero con mallas de filtrado más finas que la primera sección de filtrado, esto es necesario ya que el objetivo de esta sección es remover cualquier coágulo aún presente en el agua.

Por último, una vez filtrada el agua en la segunda sección de tamices, esta se bombea a una sección de almacenamiento final, donde el agua tratada se almacena para su regreso a los condominios, particularmente a las cajas de descarga de sanitarios.

A continuación se presenta el DFP en revisión preliminar de acuerdo a la ingeniería conceptual que se ha trabajado.

**Sección de Tanques.**

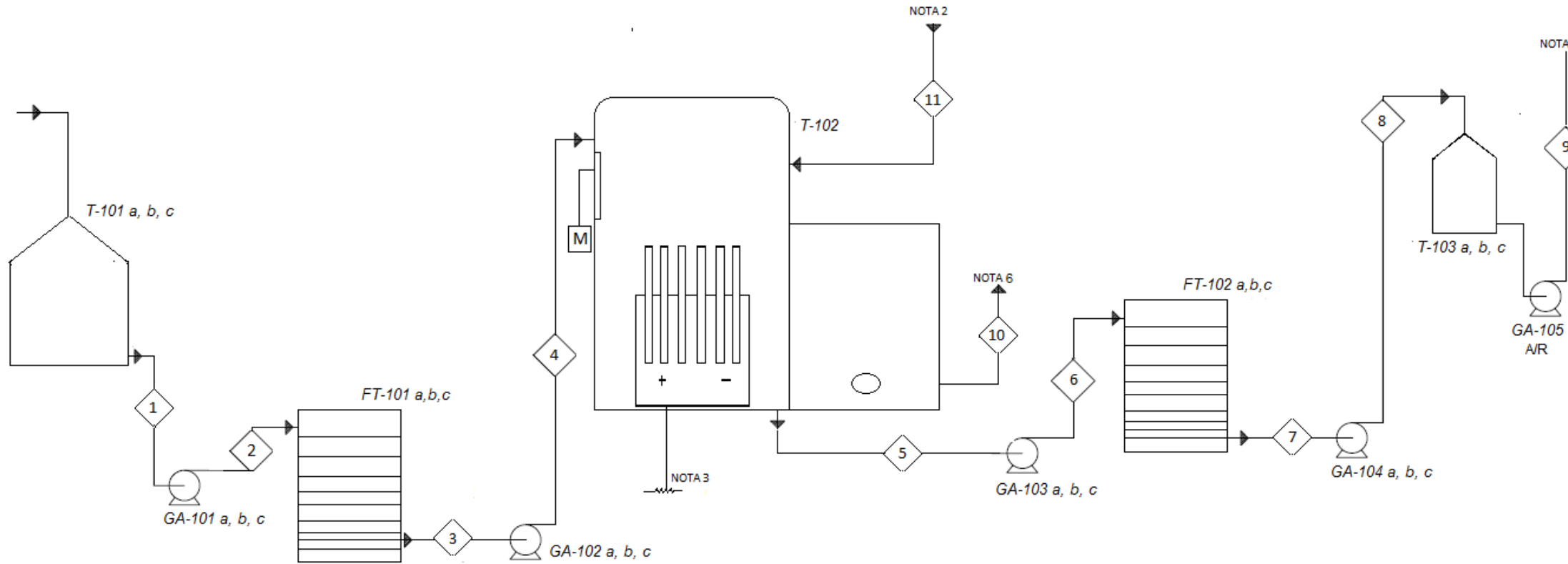
T-101. a, b, c  
Tanques de almacenamiento principal.  
T-102.  
Tanque electrocoagulador.  
T-103. a, b, c  
Tanques de almacenamiento final.

**Sección de bombas.**

GA-101, GA-102, GA-103, GA-104. GA-105  
Eficiencia  $\eta = 60\%$   $\eta = 60\%$   
Potencia  $P = 1.5 \text{ hp}$   $P = 6 \text{ hp}$

**Sección de Filtrado.**



FT-101 a, b, c, FT-102. a, b, c  
Tamices de filtración.



**NOTAS**

1. El registro de sólidos acumulados experimentalmente no fue relevante, al realizar el escalamiento en las mallas de los respectivos tamices la acumulación de sólidos debe ser considerada
2. La corriente 11 representa la adición de sales inorgánicas al tanque electrocoagulador, los compuestos auxiliares y su proporción son los siguientes:  
CaCl<sub>2</sub> y NaCl en proporción de 20 gr de sales por litro de agua.  
La proporción entre las sales puede estar dentro de las siguientes relaciones ( CaCl<sub>2</sub>:NaCl ). 2:1, 3:2, 4:3
3. La corriente eléctrica suministrada a los electrodos en el electrocoagulador será corriente alterna de 110 volts
4. El volumen de espuma residual está definido según la variación de contaminantes y detergentes presentes en el agua, este volumen puede estar entre 1 a 2 m<sup>3</sup> de espuma residual por lote.
5. Los datos de la corriente 9 son los datos de la corriente de salida, el flujo será determinado según sea el requerimiento del agua, se seleccionará una bomba adecuada. Los datos puestos y la bomba GA-105 son considerando el flujo máximo de envío permitido.
6. La espuma residual después de ser secada es enviada para ser almacenada en tambos.
7. Salida a la Unidad Habitacional.
8. Los valores de temperatura, turbidez y conductividad que aparecen en el balance de materia, representan el rango permisible de trabajo.

Corriente/Propiedad	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Flujo (m <sup>3</sup> /h)	5	5	5	5	5	5	5	5	50	Nota 4	Nota 2
T (°C)	3.0 - 28.0	3.0 - 28.0	3.0 - 28.0	3.0 - 28.0	15.0 - 40.0	15.0 - 40.0	3.0 - 30.0	3.0 - 30.0	3.0 - 30.0	NA	NA
P (psia)	10.28	29.39	10.28	29.39	10.28	29.39	10.28	29.39	58.78	NA	NA
pH	7.0 - 7.8	7.0 - 7.8	7.0 - 7.8	7.0 - 7.8	6.7 - 7.3	6.7 - 7.3	6.5 - 7.3	6.5 - 7.3	6.5 - 7.3	7.5 - 8.0	NA
Turbidez (NTU)	36.0 - 36.5	36.0 - 36.5	26.0 - 26.4	26.0 - 26.4	3.2 - 3.4	3.2 - 3.4	3.2 - 3.4	3.2 - 3.4	3.2 - 3.4	NA	NA
Conductividad (μS)	7.3 - 7.8	7.3 - 7.8	7.3 - 7.8	7.3 - 7.8	20.0 - 25.0	20.0 - 25.0	1.4 - 5.0	1.4 - 5.0	1.4 - 5.0	NA	NA

 <b>Universidad Nacional Autónoma de México</b> Facultad de Química	ELABORÓ	APROBADO POR	PERIODO DE ELABORACIÓN	REVISIÓN	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"	
DFP						Página 1 de 1

# Capítulo VI. DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN (DTI).

---



## **6.1 GENERALIDADES DE UN DIAGRAMA DE TUBERÍA E INSTRUMENTACIÓN**

Los diagramas de tubería e instrumentación, también conocidos como DTI's son planos que representan de forma gráfica el control y monitoreo de un proceso, describiendo mediante símbolos la mayoría de la filosofía de operación. Además de monitorear y controlar el proceso, en un DTI se muestran los equipos e instrumentos que intervienen en el proceso, también se muestra los diámetros y materiales de tuberías y válvulas.

Un DTI representa la conexión entre realizar un concepto y llevar a cabo la ingeniería. El contenido que debe tener un diagrama de tubería e instrumentación es la representación gráfica con todos los equipos presentes en el DFP, los instrumentos de control, las notas requeridas, la filosofía de operación, las válvulas y equipos auxiliares, los diámetros de tuberías y así como las características de dicha tubería como el material, la presión, la temperatura del flujo, entre otras. El diámetro y las características no son requeridas en la presentación preliminar.

## **6.2 FILOSOFÍA DE OPERACIÓN.**

Arranque Normal.

La planta de tratamiento recibe el agua proveniente de las lavadoras, su línea de alimentación es proporcionada por la unidad habitacional o condominio. El agua mediante una válvula será dirigida de la entrada al primer tanque de alimentación donde comenzará el llenado de dicho tanque.

Cuando el tanque llegue al primer nivel señalado, el dispositivo de suministro de ClO instalado comenzará a realizar la adición correspondiente para la eliminación de microorganismos presentes en el agua recibida.

Al momento que el tanque alcance el nivel necesario la válvula principal (V1) cerrará el envío al tanque T-101a y dirigirá el flujo de entrada al tanque T-101b para comenzar su llenado.

El controlador del tanque T-101a accionará la bomba GA-101a para enviar el agua al primer tamiz (FT-101a).

El funcionamiento de arranque del tanque T-101b estará determinado por el tamizado del FT-101a ya que el bombeo del segundo tanque comenzará al terminar correctamente el filtrado de la corriente en el primer tanque de almacenamiento.

El tercer tanque comenzará su llenado al terminar de llenarse el tanque T-101b y de igual forma que el anterior, su arranque de descarga será comenzado al finalizar el tamizado del segundo tamiz (FT-101b).

De esta forma se establece la secuencia de llenado, cuando el T-101a alcanza el nivel permitido la válvula V1 dirige la alimentación al tanque T-101b, al llenarse éste, una segunda válvula, la V2, dirige la corriente de entrada al tercer tanque (T-101c), al llenarse el tercer tanque, se cierran las válvulas V2 y V3 la válvula V1 se acomoda para volver a llenar el tanque T-101a.

#### Funcionamiento Normal.

Una vez que el T-101a ha alcanzado el nivel permisible y la adición de hipoclorito ha sido correctamente suministrada, el controlador acciona la bomba al primer tamiz, éste comienza la separación de sólidos, cuando el colector del tamiz registra cierto nivel, el controlador del tamiz acciona la bomba GA-102a y envía el agua filtrada al tanque electrocoagulador. Debido a que la velocidad con la que es enviada el agua filtrada al electrocoagulador es mayor que la velocidad con la que el tamiz filtra el agua, cuando el nivel en el colector disminuya el controlador apagará la bomba hasta que el nivel sea de nuevo el correcto para volver a enviar agua al electrocoagulador. De igual forma para evitar derrames si la acumulación en el filtro es mayor a lo permitido se detendrá la bomba GA-101a hasta que pase al agua por el filtro y se pueda volver a enviar agua al tamiz.

Una vez que el nivel del T-101a es el permisible, el controlador LTC-101a acciona la V1 cerrando el paso al T-101a y dirige el flujo al T-101b para comenzar con el barrido UV correspondiente y el llenado del tanque.

Cuando toda el agua del T-101a ha sido filtrada y enviada al T-102, se acciona la bomba GA-101b para comenzar la descarga del tanque y enviar la corriente al FT-101b donde se repetirá la secuencia de acción anterior (T-101a, FT101a, T-102), pero esta vez con los equipos T-101b, FT-101b, T-102.

Cuando el tanque T-101b tenga el nivel correcto, la V2 cerrará el paso a este tanque y lo enviará al T-101c para comenzar de igual forma que en los anteriores su barrido UV y su llenado.

El T-101c va a enviar el flujo al FT-101c accionando la bomba GA-101c una vez que el la corriente del FT-101b ha terminado de ser filtrada y enviada al T-102.

De esta manera se filtra el agua, y se envía al tanque electrocoagulador.

Cuando el T-101c llega a su nivel, la V3 y la V2 son cerradas y la V1 dirige el paso de la corriente de entrada el T-101a para repetir el ciclo.

Una vez que el tanque electrocoagulador ha recibido el agua correspondiente de los tres tanques y alcanza el nivel permitido se acciona el electrocoagulador para comenzar el proceso. Después de cierto tiempo comienza a formarse la espuma residual en la superficie por lo que se accionan las rastras en el tanque para empezar a barrerla, la espuma se barre hacia un compartimento adjunto al tanque electrocoagulador, este mecanismo de barrido hecho por las rastras, se lleva a cabo de forma constante para ir eliminando la espuma conforme se va generando y evitar un exceso de espuma en el tanque.

El tanque T-102 mantiene un registro y control constante de pH y de igual forma se lleva a cabo un registro y control de la turbidez en el agua, estos parámetros junto con el tiempo de residencia son los encargados de decidir cuándo se puede detener el proceso. Una vez que el agua alcanza los lineamientos permitidos se detiene el proceso de electrocoagulación y un cierto tiempo después se detienen las rastras.

Cuando se ha eliminado toda la espuma y el proceso ha terminado se acciona la bomba GA-103c para enviar al agua al tamiz FT-102c y eliminar ahí cualquier coagulo aún presente en el agua, la bomba será activada y desactivada según vaya filtrando el tamiz, de igual forma que en los tamices anteriores cuando el colector llegue al nivel correcto se enviará el agua al tanque de almacenamiento final T-103c, mediante la bomba GA-104c, cuando se llene el T-103c la válvula V10 dirigirá el flujo para el tamiz FT-102b accionando la bomba GA-104b para de ahí llenar el tanque de almacenamiento final T-103b.

Una vez llenado el T-103b se va a dirigir el flujo al FT-102a mediante el cierre de las válvulas V9 y V10 y realizar el proceso de filtrado para dar paso al último llenado, es decir llenar el tanque T-103a.

Una vez que se hayan llenado los tanques se podrá enviar el agua de regreso a los condominios para ser utilizado en descargas sanitarias.

Paro de emergencia.

La planta contempla ciertas situaciones ajenas al proceso que podrían interferir con el funcionamiento normal de la planta, para ello se tienen consideradas las siguientes medidas.

En caso de recibir un flujo mucho mayor al requerido y se llenaran los tres tanques antes de terminar el lote en curso, se cerrarán las tres válvulas principales, es decir, la V1, V2 y V3 para enviar el flujo de alimentación al drenaje.

En caso de fallo en algún tamiz, las válvulas V4, V5, V6 serán controladas para enviar el flujo que recibe el tamiz con fallo al tamiz subsecuente y continuar con el proceso de filtrado, de esta manera en caso de fallar el tamiz FT-101a, la válvula V4 dirigirá el flujo proveniente del T-101a al FT-101b, en caso de fallar el FT-101b la válvula V5 dirigirá el flujo al FT-101c y en caso de fallar el FT-101c la V6 se cerrará y el flujo podrá ser enviado al FT-101a o al FT-101b según estén disponibles. En caso de presentar falla en el electrocoagulador, al ser el núcleo de la planta, se deberán cerrar todas las válvulas, apagar cualquier equipo en funcionamiento y deshabilitar la corriente eléctrica de la planta, así como cerrar las válvulas que permiten la entrada y enviar la corriente de alimentación al drenaje.

**Sección de Tanques.**

T-101. a, b, c  
Tanques de almacenamiento principal.  
T-102.  
Tanque electrocoagulador.  
T-103. a, b, c  
Tanques de almacenamiento final.

**Sección de bombas.**

GA-101, GA-102, GA-103, GA-104. GA-105  
Eficiencia  $\eta = 60\%$   
Potencia  $P = 1.5 \text{ hp}$

GA-105  
Eficiencia  $\eta = 60\%$   
Potencia  $P = 6 \text{ hp}$

**Sección de Filtrado.**

FT-101 a, b, c, FT-102. a, b, c  
Tamices de filtración.

**NOTAS**

1. La corriente 11 representa la adición de sales inorgánicas al tanque electrocoagulador, los compuestos auxiliares y su proporción son los siguientes:

CaCl<sub>2</sub> y NaCl en proporción de 20 gr de sales por litro de agua.  
La proporción entre las sales puede estar dentro de las siguientes relaciones ( CaCl<sub>2</sub>:NaCl ). 2:1, 3:2, 4:3

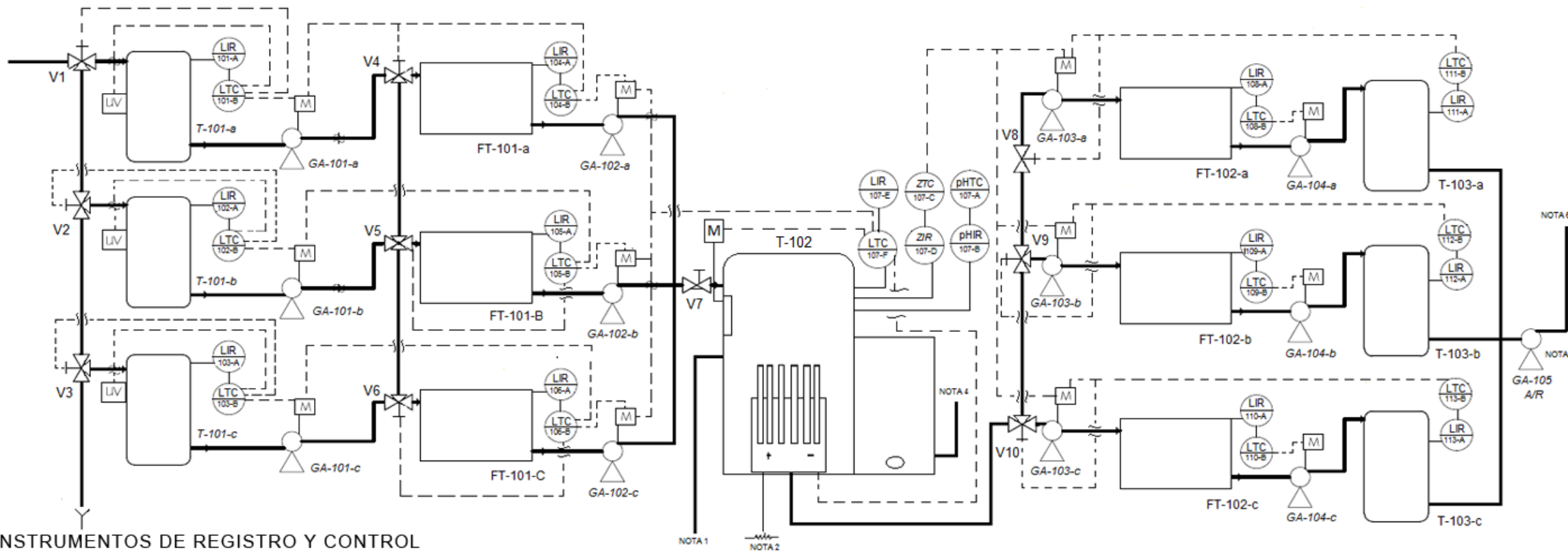
2. La corriente eléctrica suministrada a los electrodos en el electrocoagulador será corriente alterna de 110 volts

3. El volumen de espuma residual está definido según la variación de contaminantes y detergentes presentes en el agua, este volumen puede estar entre 1 a 2 m<sup>3</sup> de espuma residual por lote.

4. La espuma residual después de ser secada es enviada para ser almacenada en tambos.

5. El flujo será determinado según sea el requerimiento del agua, se seleccionará una bomba adecuada. Los datos puestos y la bomba GA-105 son considerando el flujo máximo de envío permitido.

6. Salida a la Unidad Habitacional.



**INSTRUMENTOS DE REGISTRO Y CONTROL**

LIR-101 A, LIR-102 A, LIR-103 A  
Indicador y registrador de nivel en la sección de almacenamiento principal.

LIR-104 A, LIR-105 A, LIR-106 A  
Indicador y registrador de nivel en la sección de filtrado principal.

pHTC-107 A  
Transmisor y controlador de pH en el tanque electrocoagulador.

ZIR-107 D  
Indicador y registrador de turbidez en el tanque electrocoagulador.

LIR-108 A, LIR-109 A, LIR-110 A  
Indicador y registrador de nivel en la sección de filtrado secundaria.

LIR-111 A, LIR-112 A, LIR-113 A  
Indicador y registrador de nivel en la sección de almacenamiento final.

LTC-101 B, LTC-102 B, LTC-103 B  
Transmisor y controlador de nivel en la sección de almacenamiento principal.

LTC-104 B, LTC-105 B, LTC-106 B  
Transmisor y controlador de nivel en la sección de filtrado principal.

pHIR-107 B  
Indicador y registrador de pH en el tanque electrocoagulador.



LIR-107 E  
Indicador y registrador de nivel en el tanque electrocoagulador.

LTC-108 B, LTC-109 B, LTC-110 B  
Transmisor y controlador de nivel en la sección de filtrado secundaria.

LTC-111 B, LTC-112 B, LTC-113 B  
Transmisor y controlador de nivel en la sección de almacenamiento final.

ZTC-107 C  
Transmisor y controlador de turbidez en el tanque electrocoagulador.

LTC-107 F  
Transmisor y controlador de nivel en el tanque electrocoagulador.

 <b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>  <b>Facultad de Química</b>	ELABORÓ	APROBADO POR	PERIODO DE ELABORACIÓN	REVISIÓN	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empleando modelos tridimensionales"  <b>DOCUMENTO:</b> Diagrama de Tubería e Instrumentación	 Página 1 de 1

# Capítulo VII. HOJAS DE DATOS.

---

## 7.1 GENERALIDADES DE UNA HOJA DE DATOS.

Este documento contiene la información final del proceso, en él se describen todas las características presentes en los equipos, cada equipo tiene su respectiva hoja de datos, es justo en este documento donde se aterrizan todas las bases y criterios que se hayan utilizado para diseñar los equipos. Cada equipo en su respectiva hoja de datos contiene la información necesaria para ser descrito de forma adecuada por lo que no hay un modelo específico para elaborar una hoja de datos, cada una es única para cada equipo, es decir la hoja de datos elaborada para una bomba no contiene la misma información que la hoja elaborada para un tanque de almacenamiento o un compresor etc.

En general una hoja de datos es la descripción clara y precisa de cada detalle que conforma a un equipo de la planta, dependiendo la revisión que se desee realizar o la etapa de ingeniería en la que se encuentre, la hoja de datos puede variar su contenido.

En el caso de las hojas de datos elaboradas durante la ingeniería conceptual, el objetivo es presentar los rasgos más generales del equipo, en estas hojas se enlistan datos como la función del equipo, las medidas, la capacidad, valores de flexibilidad en la capacidad, material, rangos permisibles en las variables de operación, código de identificación y algunos datos técnicos importantes para reconocer el número de revisión y etapa del documento. Se presentan también dibujos o diagramas que describan al equipo. Cuando se comienza a desarrollar la ingeniería básica en un proyecto las hojas de datos comienzan a ser un poco más específicas ya que deben proporcionar a los ingenieros de detalle y procura elementos suficientes para cotizar, desarrollar y adquirir los equipos correspondientes en la planta.

Como cualquier documento dentro de las etapas de un proyecto, las hojas de datos van madurando a su forma final conforme las etapas de ingeniería avanzan.

Al finalizar un proyecto este documento describe con precisión los detalles finales de cada equipo presente en el proceso.

A continuación se presentan las hojas de datos elaboradas para el diseño de la planta de tratamiento.



PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS GRISES  
HD - 001 - A, B, C



No. de página. 1 de 1  
 Revisión No. 1 (preliminar)  
 Elaborado por. Luis Alvarado De La Fuente  
 Aprobado por. José Antonio Ortiz  
 Fecha. \_\_\_\_\_

Planta	Tratamiento de aguas grises	Capacidad	25 m <sup>3</sup>
Servicio	Almacenamiento	Tipo de equipo	Estático
		Altura	4.5 m
		Nivel	1.75 m
		Diámetro	3.5 m
		Peso	25000 kg
		Espesor	15 mm
		Material	Acero inoxidable 304
		Código	T-101-a,b,c
		Nivel máximo	2.6 m
		Nivel mínimo	1.3 m
		pH Máximo	10
		pH Mínimo	6
		Presión de diseño	60 psi
		Presión de operación	20 psi
		Temperatura de diseño	80 °C
Temperatura de operación	25 °C		
Servicio	DI (in)	Cédula	
Entrada	8	40	
Salida	3	40	

	Universidad Nacional Autónoma de México	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empenado modelos tridimensionales"	
	Facultad de Química		
HD			Página 1 de 6





PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS GRISES  
HD - 001 - A,B,C



No. de página. 1 de 1  
Revisión No. 1 (preliminar)  
Elaborado por. Luis Alvarado De La Fuente  
Aprovado por. José Antonio Ortiz  
Fecha. \_\_\_\_\_

Planta	Tratamiento de aguas grises	Capacidad	1 m <sup>3</sup>
Servicio	Filtrado — Tamiz Vibratorio	Tipo de equipo	Dinámico
		Altura	2.33 m
		Nivel	1 m (colector)
		Diámetro	1.17 m
		Peso	1500 kg
		Espesor de malla	MESH 325
		Material	Acero al carbón 304
		Código	FT-101-a,b,c
		Nivel máximo	2 m (colector)
		Nivel mínimo	0.5 m (colector)
		pH Máximo	6.5
		pH Mínimo	9
		Presión de diseño	5 psi
		Presión de operación	10 psi
		Temperatura de diseño	80 °C
		Temperatura de operación	25 °C
Abertura de poro	0.0432 mm		
Número de malla	3		

	Universidad Nacional Autónoma de México	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empenado modelos tridimensionales"	
	Facultad de Química	Documento: Hoja de Datos	
HD			Página 2 de 6



PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS GRISES  
HD - 003



No. de página. 1 de 1  
 Revisión No. 1 (preliminar)  
 Elaborado por. Luis Alvarado De La Fuente  
 Aprobado por. José Antonio Ortiz  
 Fecha. \_\_\_\_\_

Planta	tratamiento de aguas grises		Capacidad	50 m <sup>3</sup>		
Servicio	Electrocoagulación		Tipo de equipo	Paquete		
				Altura	7 m	
				Largo	3.5 m	
				Ancho	3.5 m	
				Nivel	4 m	
				Peso	9500 kg	
				Espesor	80 mm	
				Material	EPDM/Polycarbonato	
				Código	T - 102	
				Nivel máximo	6 m	
				Nivel mínimo	3 m	
				pH Máximo	9	
				pH Mínimo	6	
				Presión de diseño	30 psi	
				Presión de operación	15 psi	
				Temperatura de diseño	60 °C	
				Temperatura de operación	30 °C	
Contenedor de espuma residual				Altura	3 m	
				Longitud	2.5	
				material	EPDM/Polycarbonato	
				Volumen máximo	20 m <sup>3</sup>	
				Dimensiones de la salida	1 m x 2m x 0.05m	
				Dimensiones de la entrada	2m x 2.75m x 0.08m	
Electrodos		Longitud	2.1 m	Servicio	DI (in)	Cédula
	Altura	1 m		Entrada	3	40
	Espesor	30 mm		Salida	3	40
	Material ánodo/cátodo	Aluminio / Hierro				
	Separación entre placas	0.27 m				
	Número de placas	4 cátodo/4 ánodo				
	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, empenado modelos tridimensionales"				Documento: Hoja de Datos
	<b>Facultad de Química</b>					
<b>HD</b>					Página	<b>3 de 6</b>



PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS GRISES  
HD - 104 - A,B,C



No. de página. 1 de 1  
 Revisión No. 1 (preliminar)  
 Elaborado por. Luis Alvarado De La Fuente  
 Aprobado por. José Antonio Ortiz  
 Fecha. \_\_\_\_\_

Planta	Tratamiento de aguas grises	Capacidad	1 m <sup>3</sup>
Servicio	Filtrado — Tamiz Vibratorio	Tipo de equipo	Dinámico
		Altura	2.33 m
		Nivel	1 m (colector)
		Diámetro	1.17 m
		Peso	1500 kg
		Espesor de malla	MESH 500
		Material	Acero al carbón 304
		Código	FT-102-a,c,b
		Nivel máximo	2 m (colector)
		Nivel mínimo	0.5 m (colector)
		pH Máximo	6.5
		pH Mínimo	9
		Presión de diseño	5 psi
		Presión de operación	10 psi
		Temperatura de diseño	80 °C
		Temperatura de operación	25 °C
Abertura de poro	0.0279 mm		
Número de malla	3		

	<b>Universidad Nacional Autónoma de México</b>	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, emplenado modelos tridimensionales"	
	<b>Facultad de Química</b>		
<b>HD</b>			Página 4 de 6



PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS GRISAS  
HD - 005 - A,B,C



No. de página. 1 de 1  
Revisión No. 1 (preliminar)  
Elaborado por. Luis Alvarado De La Fuente  
Aprobado por. José Antonio Ortiz  
Fecha. \_\_\_\_\_

Planta	Tratamiento de aguas grises	Capacidad	25 m <sup>3</sup>
Servicio	Almacenamiento	Tipo de equipo	Estático
		Altura	3.9 m
		Nivel	2.4 m
		Diámetro	3 m
		Peso	700 kg
		Espesor	2 mm
		Material	Polietileno de alta densidad
		Código	T-103-a,b,c
		Nivel máximo	3.5 m
		Nivel mínimo	0 m
		pH Máximo	7.5
		pH Mínimo	6.5
		Presión de diseño	20 psi
		Presión de operación	14.7 psi
Temperatura de diseño	60 °C		
Temperatura de operación	25 °C		
Servicio	DI (in)	Cédula	
Entrada	3	40	
Salida	8	40	

	Universidad Nacional Autónoma de México	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, emplenado modelos tridimensionales"	
	Facultad de Química		
HD			Página 5 de 6



PLANTA DE TRATAMIENTO  
DE AGUAS GRISES  
HD - 006



No. de página. 1 de 1  
Revisión No. 1 (preliminar)  
Elaborado por. Luis Alvarado De La Fuente  
Aprovado por. José Antonio Ortiz  
Fecha. \_\_\_\_\_

Planta	Tratamiento de aguas grises	Capacidad	N.A.
Servicio	Bomba Centrífuga	Tipo de equipo	Dinámico
		Potencia	1.5 hp
		Eficiencia	0.6
		Cabeza	35 m
		Caudal de entrada	5 m <sup>3</sup> /hr
		Caudal de salida	5 m <sup>3</sup> /hr
		Material	Acero inoxidable
		Código	GA - (101-104) - (a,b,c)
		NPSH	7 m
		Energía	1100 W
		pH Máximo	N.A.
		pH Mínimo	N.A.
		Presión de entrada	10.28 psi
		Presión de salida	29.39 psi
		Temperatura mínima	3 °C
Temperatura máxima	40 °C		
Servicio	DI (in)	Cédula	
Entrada	1.5	40	
Salida	1.5	40	

	Universidad Nacional Autónoma de México	"Diseño de una planta de tratamiento de aguas grises, emplenado modelos tridimensionales"	
	Facultad de Química	Documento: Hoja de Datos	
HD			Página 6 de 6

# Capítulo VIII.

## MODELADO

### TRIDIMENSIONAL.

---

Hoy en día las herramientas computacionales se vuelven necesarias y empiezan a tomar un rol importante en el desarrollo de cualquier actividad. Principalmente en la áreas de investigación la tecnología es importante para conseguir resultados más precisos y mucho más confiables, del lado de las ingenierías poco a poco se involucran los programas computacionales para presentar mejores avances y desarrollar con mayor calidad el trabajo ingenieril.

Todos los proyectos de ingeniería pasan por determinadas etapas, como lo son la ingeniería conceptual, la definición y alcance del proyecto, la ingeniería básica, la ingeniería de detalle, la procura, la construcción, el periodo de pruebas y finalmente el arranque y operación normal. Todas estas etapas se aterrizan con la elaboración de documentos que engloban y resumen el proyecto.

La aparición de software que permite modelar en tercera dimensión nos permite dar un paso más en la presentación de ideas y proyectos, generalmente los proyectos de ingeniería presentan documentos en 2D, es decir, planos, diagramas etc. hoy en día la ingeniería ya se empieza a valer del modelado tridimensional para presentar plantas, construcciones, en general cualquier proyecto ya que un modelo tridimensional nos permite obtener un panorama más real y nos acerca a la presentación final del proyecto.

En el desarrollo de la ingeniería conceptual desarrollada en este trabajo, el modelo tridimensional tiene un gran peso, ya que uno de los objetivos es presentar equipos modelados en 3D y su acoplamiento, la finalidad es hacer el trabajo más interactivo, más dinámico y plasmar la idea general de la planta más allá de las bases, criterios y diagramas.

En este capítulo se presenta el desarrollo de cada equipo para culminar con un recorrido virtual de la planta presentada como una opción de construcción.

## 8.1 PRESENTACIÓN DEL PROGRAMA.

El programa seleccionado para realizar el modelado tridimensional fue el programa 3D Max, es un software utilizado de manera general para cualquier tipo de animación en tercera dimensión, es comúnmente utilizado por arquitectos, diseñadores e ingenieros, cuenta con una gran versatilidad y una amplia gama de figuras y formas para elaborar modelos de cualquier área. En lo personal considero que es un programa muy cómodo, con una gran facilidad de uso, así como una forma simple de manejar sus comandos y herramientas.

Una de las grandes ventajas del programa es la facilidad con la que se trabaja, sus herramientas son simples pero muy completas, fáciles de usar y muy prácticas. Por otro lado presenta como desventaja el ser un programa muy general, no es exclusivo de ingeniería, por lo que cada equipo debe crearse a partir de acoplar figuras básicas, y es que programas como AutoCad Plant, ya cuentan con diseños preestablecidos de equipo de ingeniería.

Las vistas y comandos básicos con los que se trabajó en el programa 3D MAX se presentan brevemente en las siguientes imágenes.

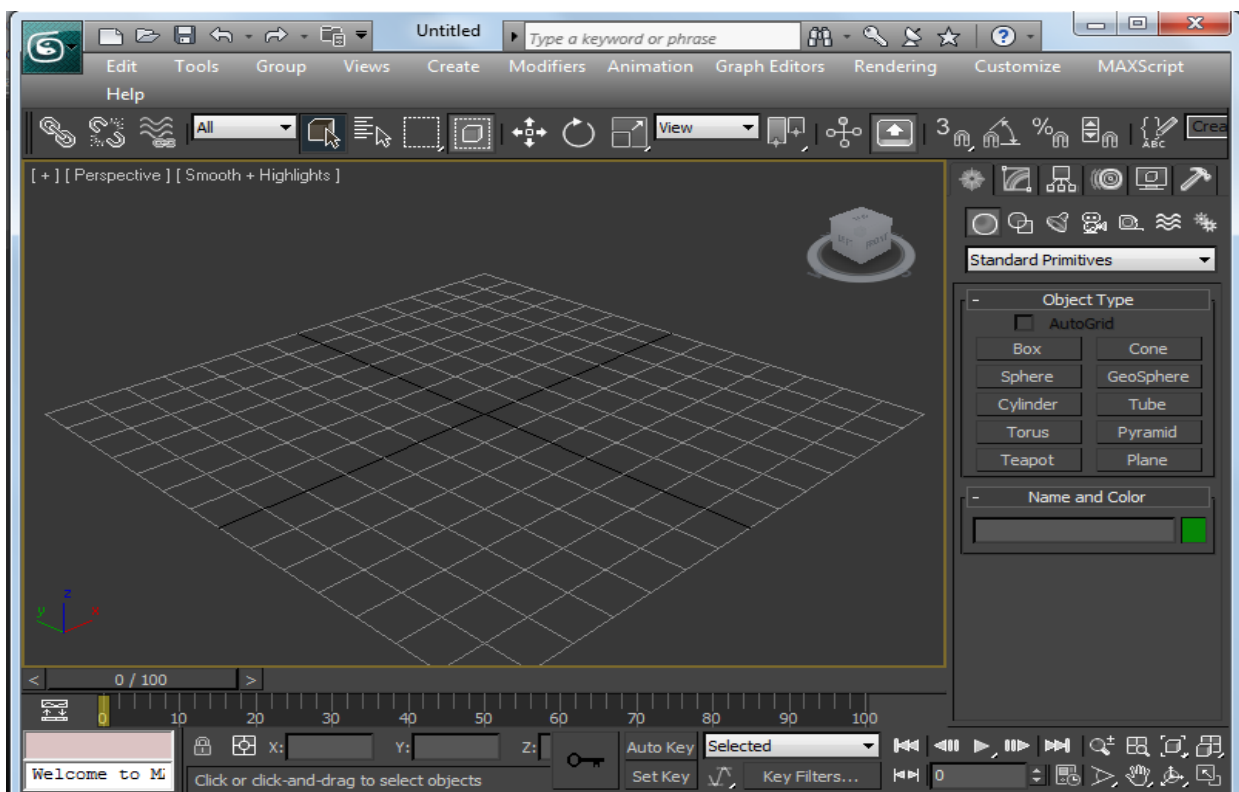


Figura 8.1 - Vista Principal con plano general.





Figura 8.2 - Barra Principal de Objetos.

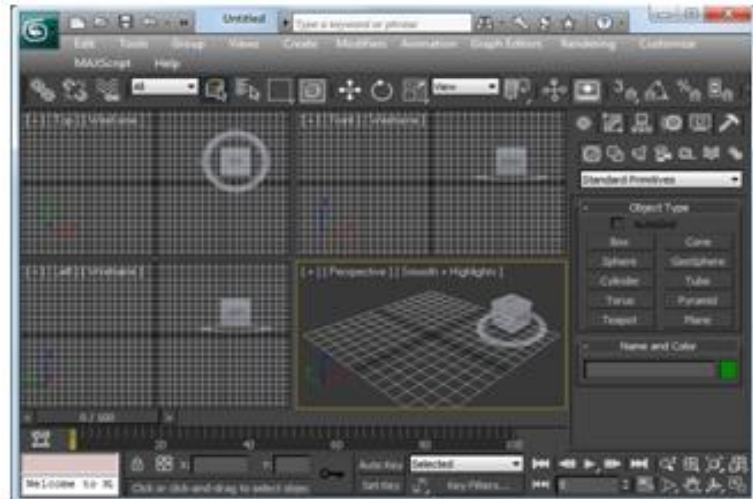


Figura 8.3 - Vista en planos según el perfil deseado.

Para el caso de las figuras 8.1 y 8.3 se muestran las posibles vistas que presenta el programa.

La 8.3 es la vista más común, es la más útil ya que en esta se ven la alineación y escala desde una vista superior, lateral y frontal, ya que solo muestra los modelos en 2D, es decir solo muestra la vista de los eje (x,y), (y,z), (x,z).

En el caso de la figura 8.2, es la barra más útil para insertar objetos y formas, como los son esferas, cilindros, tubos, planos, cajas y una gran variedad de objetos que se utilizan para formar figuras más complejas.

Las figuras 8.4 y 8.5 muestran los cuerpos básicos con los que se deben crear los equipos de ingeniería deseados.

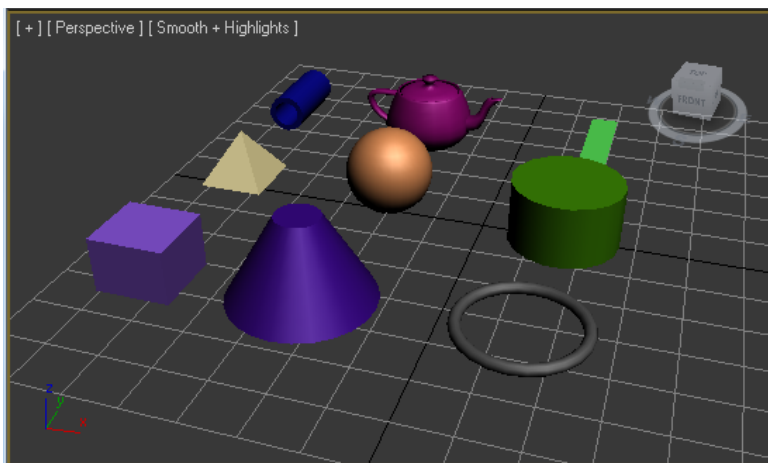


Figura 8.4 – Cuerpos básicos

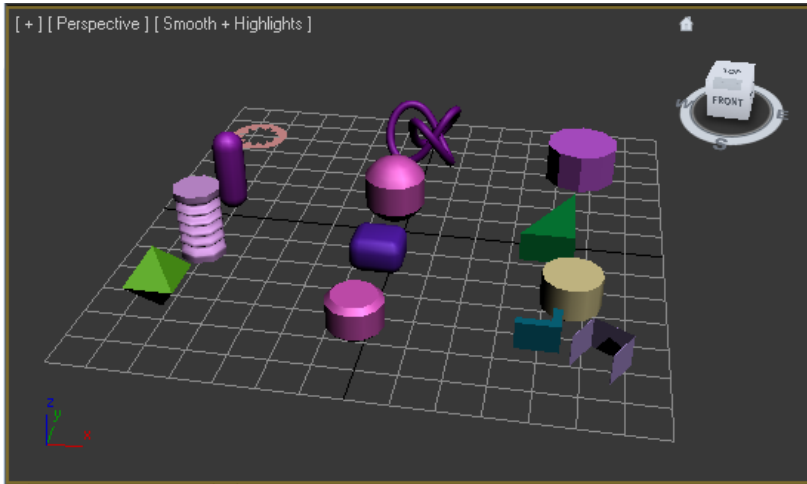


Figura 8.5 – Cuerpos Complejos

## 8.2 DESARROLLO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO.

### Tanque de Almacenamiento Principal.

El primer equipo que se generó de la planta fue el primer tanque de almacenamiento, este es un tanque a presión, de acero, y con capacidad de 25000 litros. Este equipo cuenta con una base hecha de 4 patas soporte, el cuerpo del tanque y la tapa, este es un diseño sugerido. Este tanque se muestra en las figuras 8.1A, 8.1B, 8.1C.

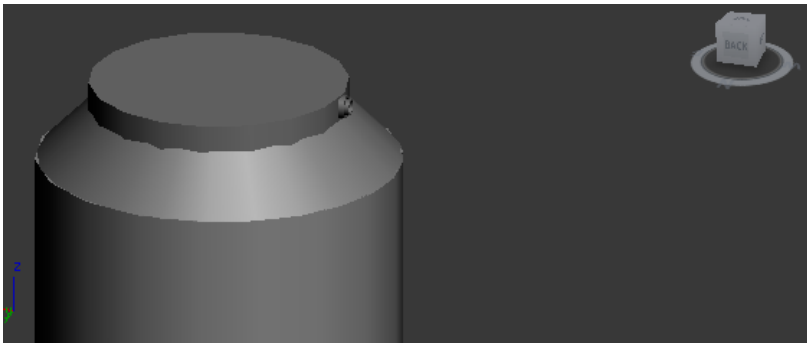


Figura 8.1A

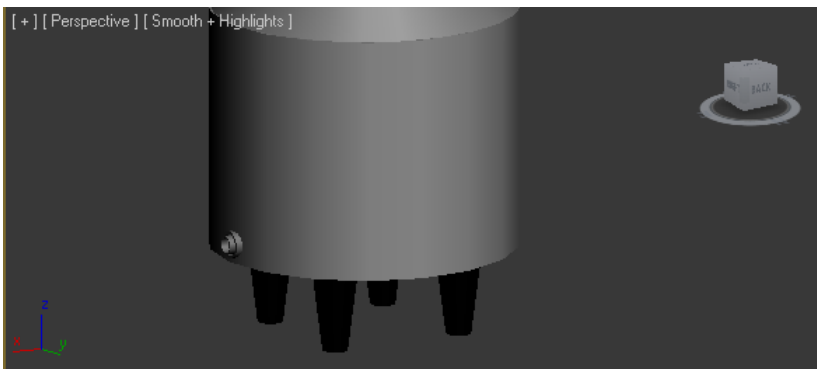


Figura 8.1B

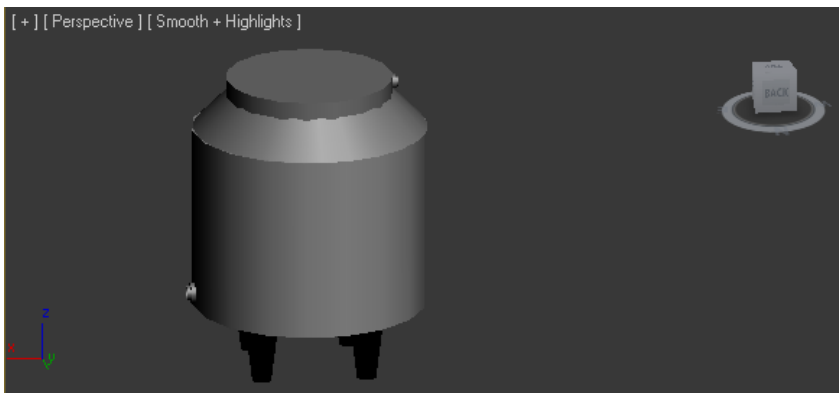


Figura 8.1C

### Bomba Centrífuga.

Para el acoplamiento de la planta se creó un modelo de bomba, la seleccionada fue una bomba centrífuga, se hizo la base, el motor, la sección de succión y la salida. Esta bomba y sus pasos de creación se muestran en las figuras 82A, 82B, 82C, 82D

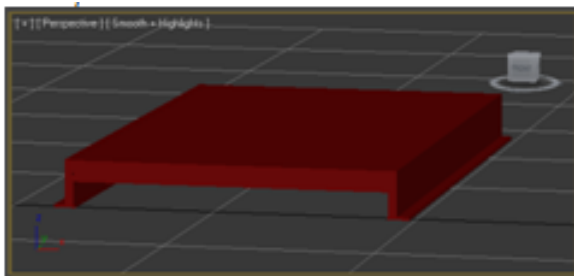


Figura 8.2A

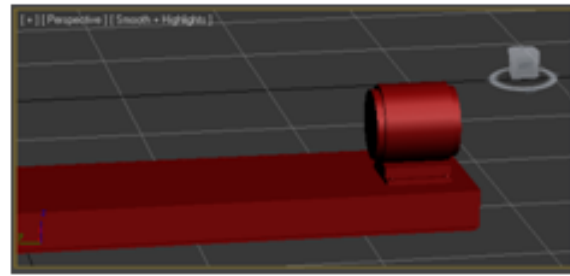


Figura 8.2B

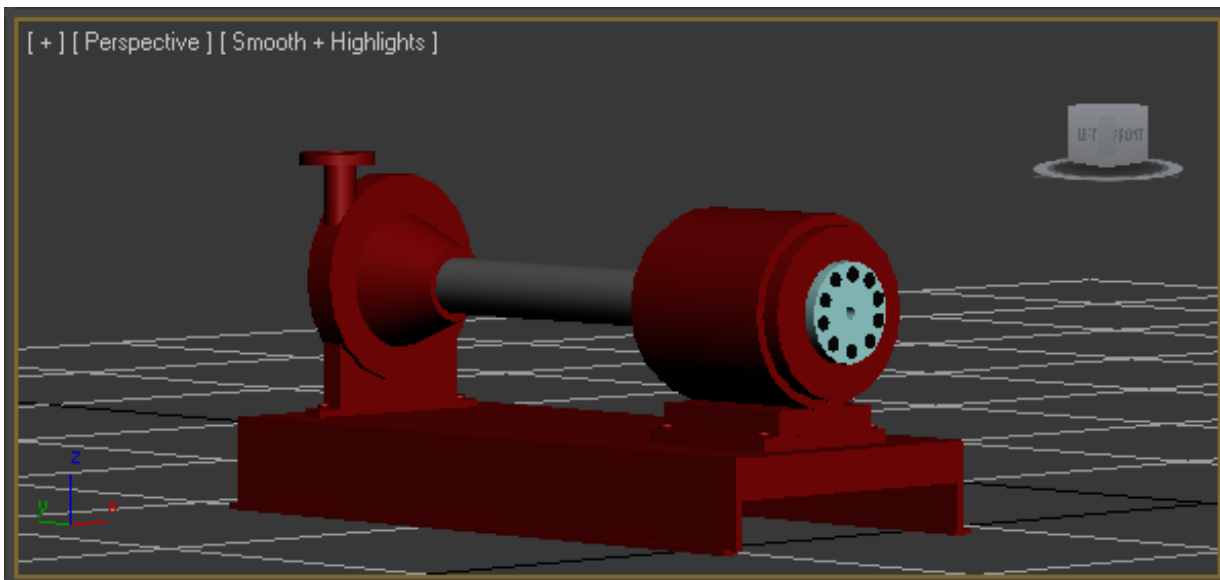


Figura 8.2C

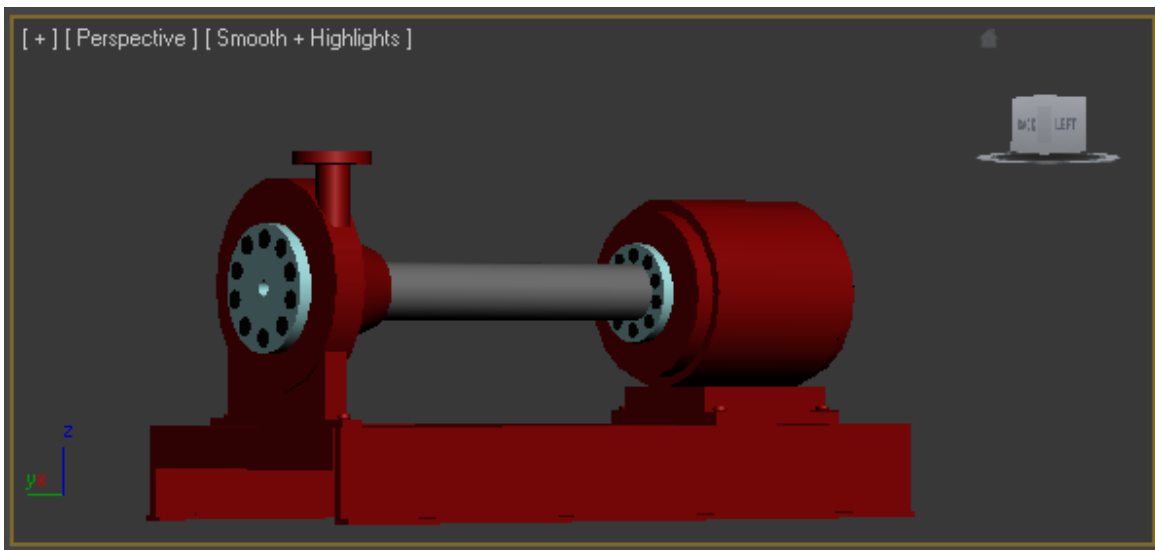


Figura 8.2D

### Tamiz Filtrador.

Para crear este equipo se utilizaron más de 15 piezas, este tamiz cuenta con 3 mayas filtradoras, la base colectora del líquido, así como su tapa y sus soportes. El tamiz y sus partes se muestran en la figura 8.3A, 8.3B, 8.3C.

En esta imagen se observan las cuatro partes principales con las que se construyó el tamiz, que son los discos de filtrado, el cuerpo, la base y los soportes.

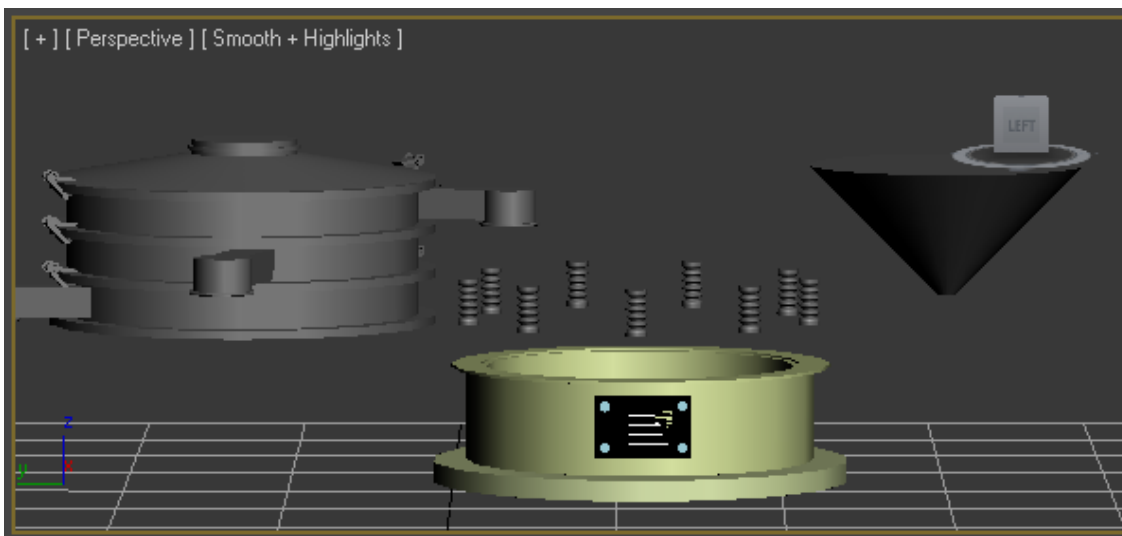


Figura 8.3A

En esta imagen se muestran las partes con las que se construyó la sección de discos de filtrado, se usaron 3 discos, se hizo en 3D cada disco, su tapa y sus seguros.

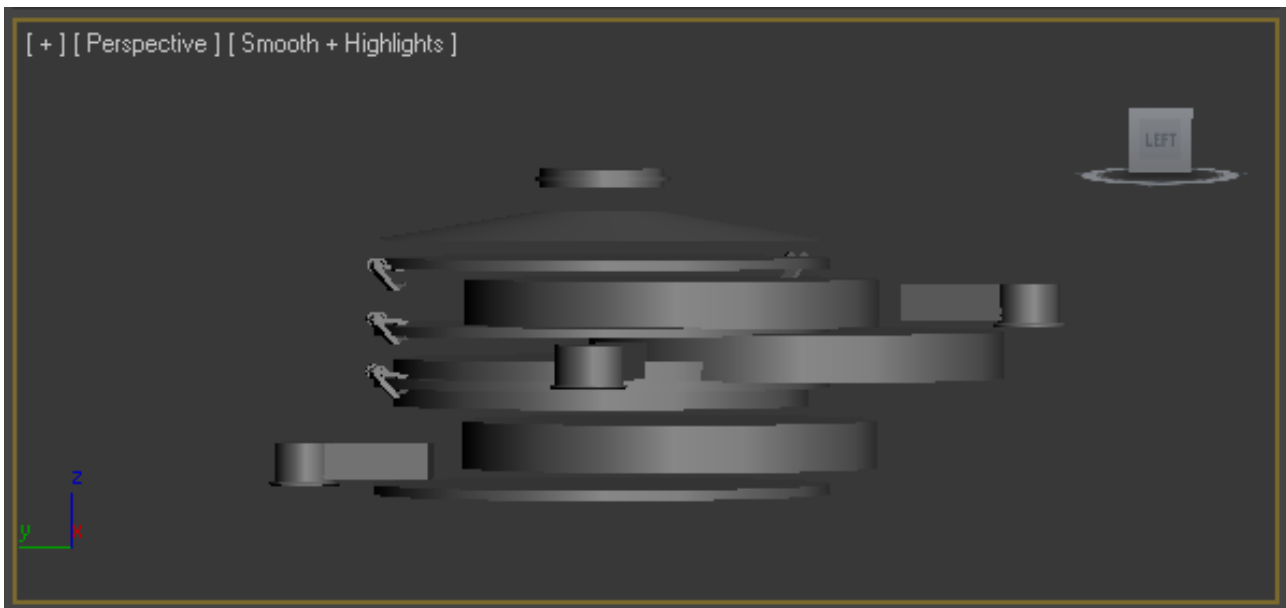


Figura 8.3B

Aquí ya se muestra el tamiz completo, con todas las partes agrupadas. Este es el diseño final de este equipo.

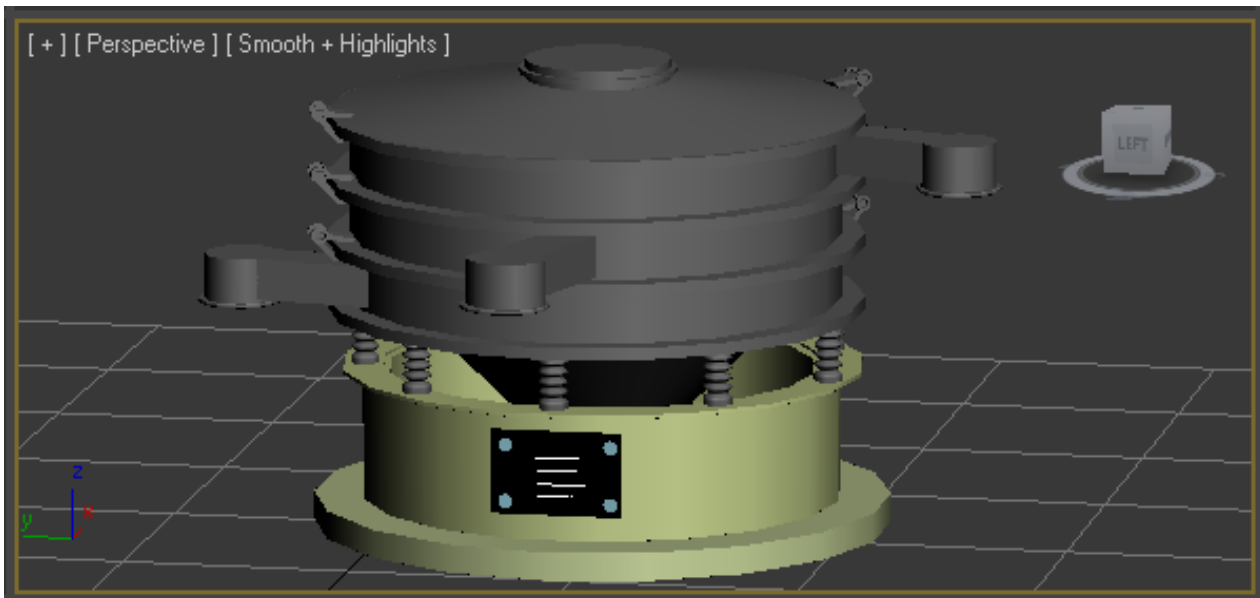


Figura 8.3C

## Tanque Electrocoagulador.

Este tanque es el más grande de todos, ya que al ser un diseño original se diseñó específico para tratar toda la capacidad de la planta, cuenta con una conexión a corriente alterna para accionar las placas que funcionan como electrodos, y rastras de barrido conectadas a un motor, estas rastras sirven para retirar la espuma residual.

En las siguientes imágenes se muestran el sistema de placas, que funcionan como electrodos en el sistema de electrocoagulación, y el motor de las rastras de barrido (fig. 8.4A, 8.4B) así como el tanque electrocoagulador final (8.4C, 8.4D).

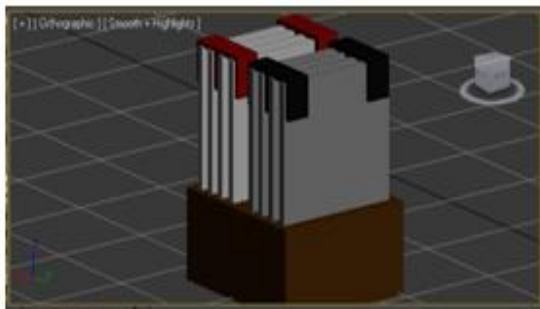


Figura 8.4A

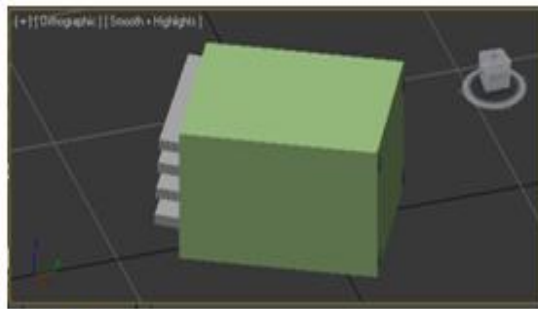


Figura 8.4B

En la siguiente imagen se muestra el diseño final del Electrocoagulador, con los electrodos al fondo, las rastras con su motor y soporte en la parte superior, también se ve el compartimiento adjunto para recibir la espuma residual.

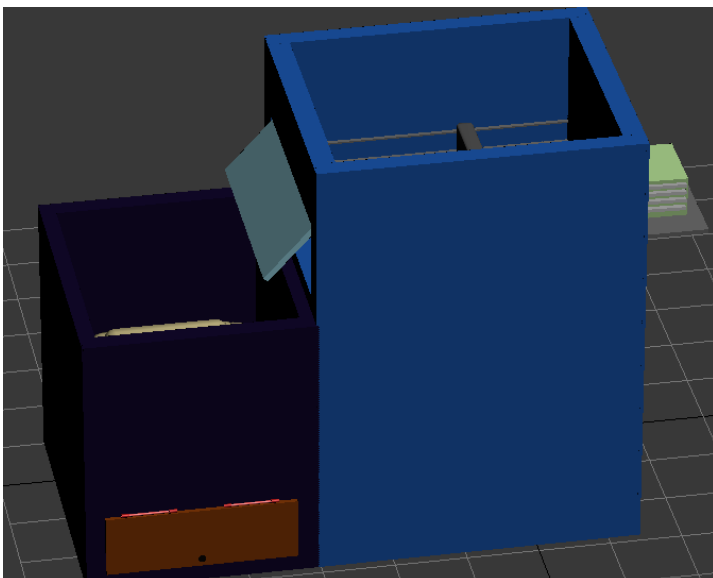


Figura 8.4C

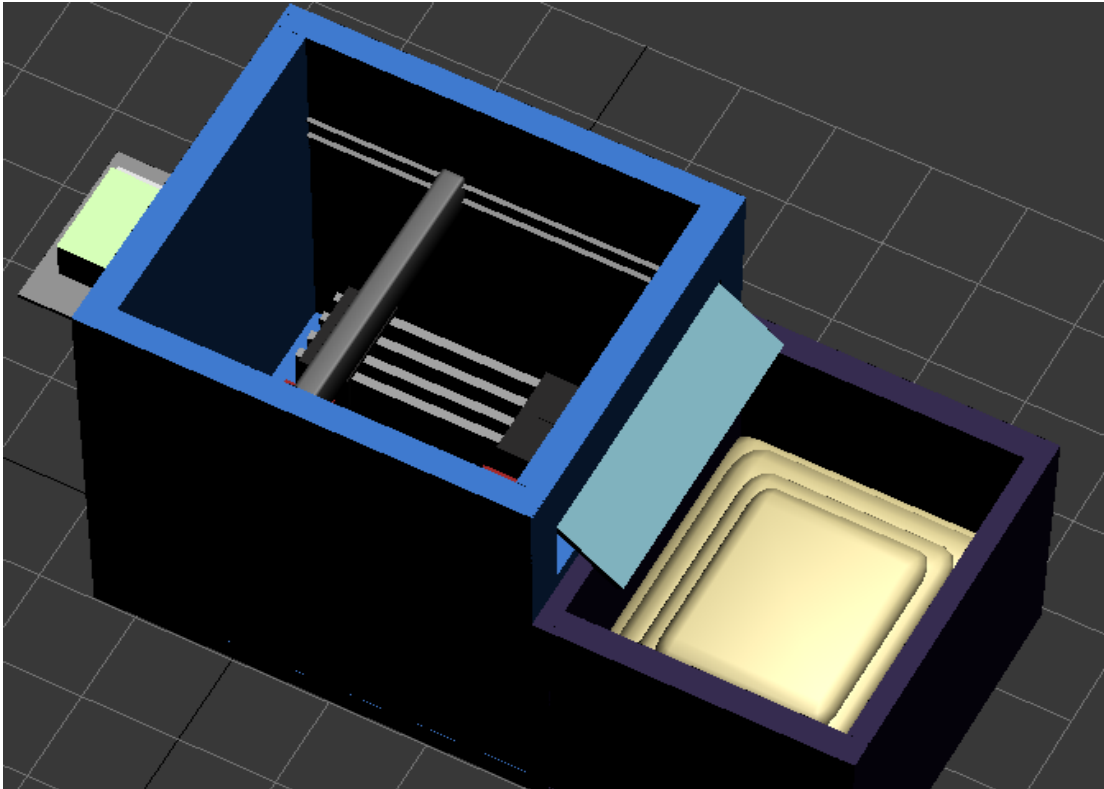


Figura 8.4D

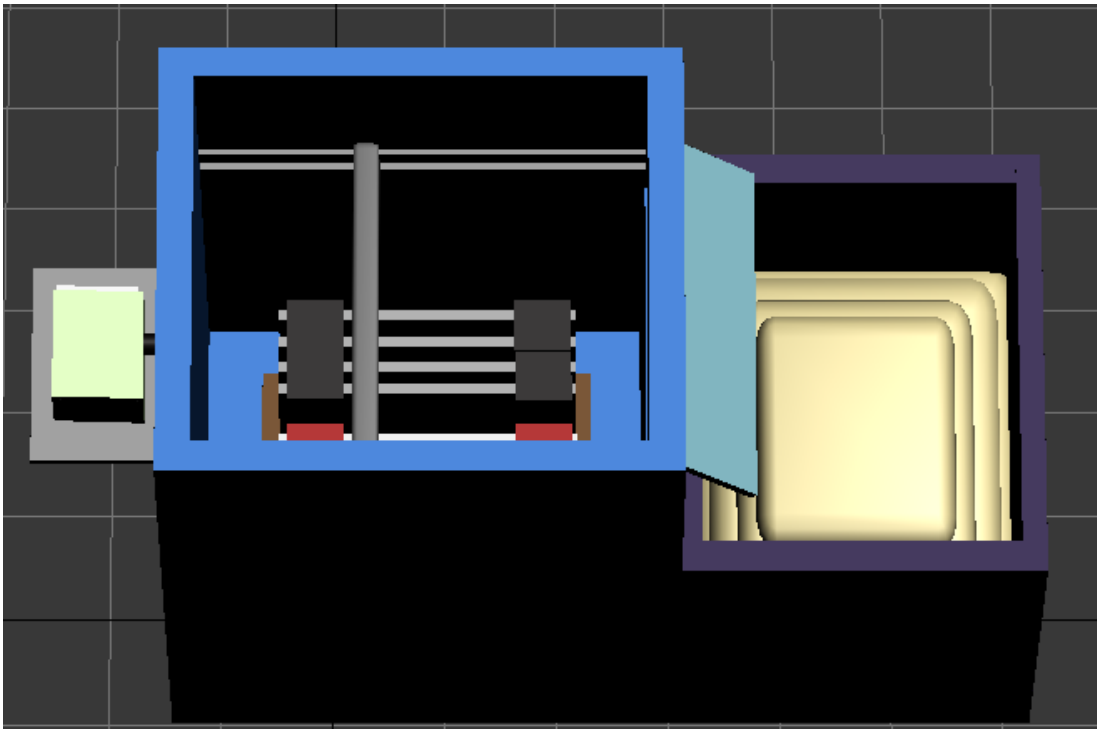


Figura 8.4DE

## Tanque de almacenamiento Industrial

Esta es la última sección de la planta, debido a las condiciones del agua, esta puede ser contenida en tanques simples como lo es una cisterna industrial, con capacidad de 25000 litros, este es un tanque existente y para generar el modelo 3D se utilizaron imágenes reales. Figuras 8.5A y 8.5B.

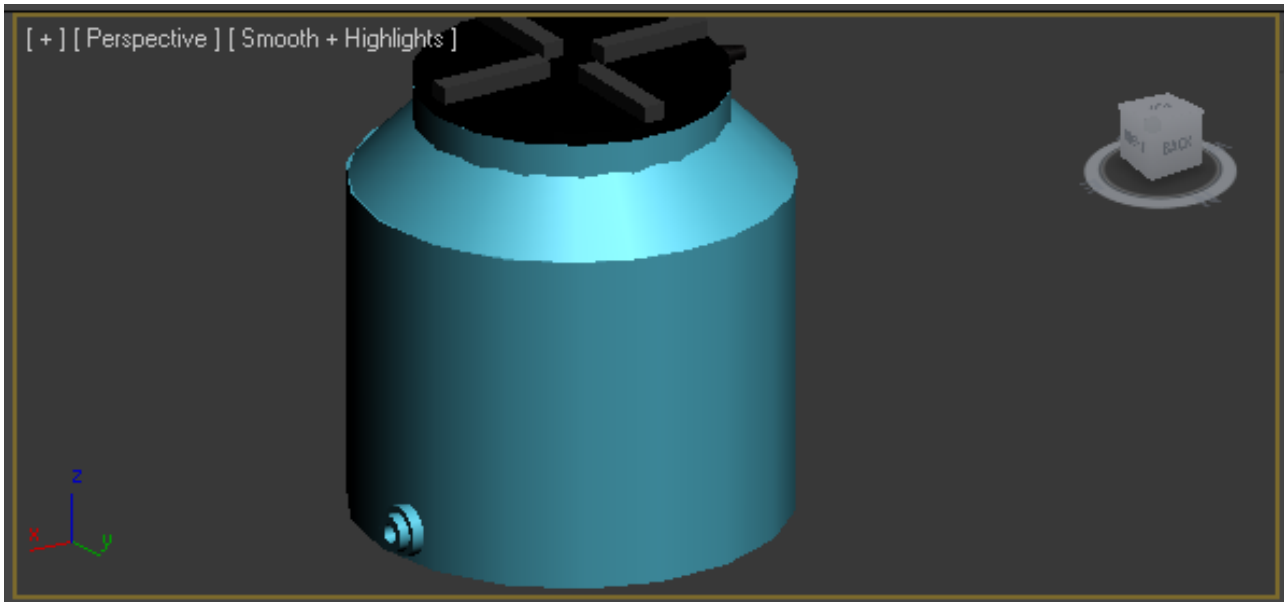


Figura 8.5A

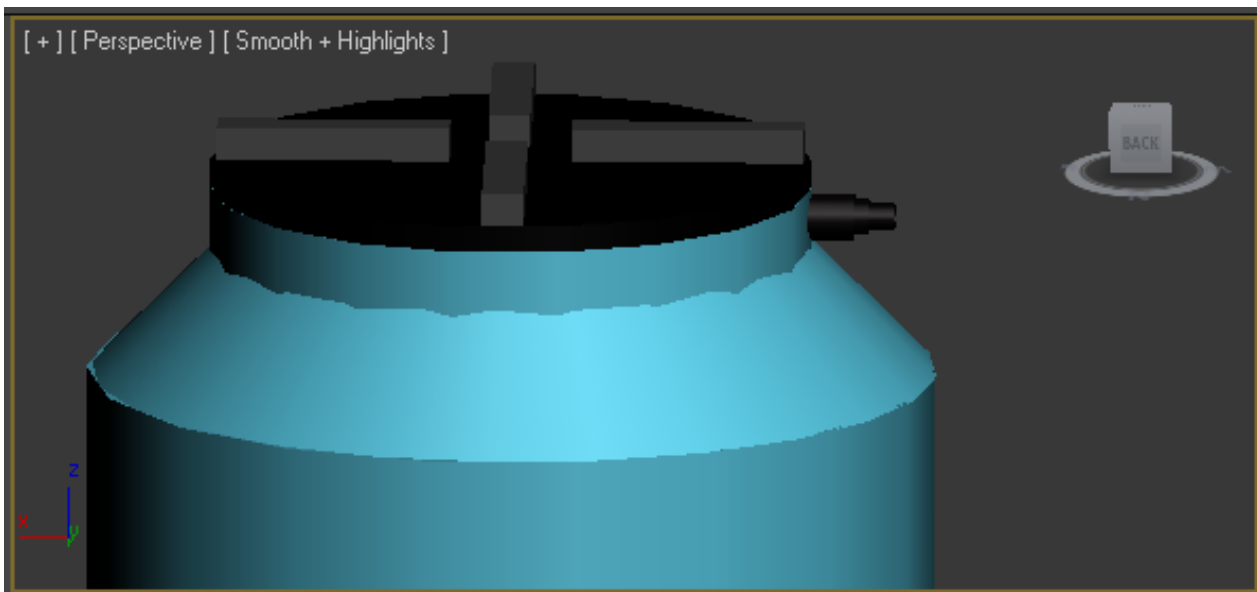


Figura 8.5B



### 8.3 ACOPLAMIENTO DE LOS EQUIPOS.

Una vez creado cada equipo, en un plano de 3D MAX nuevo, se comienzan a adjuntar los equipos en un mismo plano. Ya incorporados los equipos, las bombas, los codos y tuberías creadas se ensamblan conectándolas manualmente, es decir, se acomodan de manera que queden conectados. Cabe mencionar que en 3D MAX no se puede hacer una conexión automática, por lo que cada equipo debía tener en su diseño de alimentación y salida, para ahí crear la conexión.

Como se describe en los diagramas de flujo y tubería (DFP, DTI) los tanques de almacenamiento principal son el inicio de la planta, de ahí mediante bombas se envía el flujo a la primera sección de tamices, posteriormente se envía de cada tamiz al Electrocoagulador, donde después del proceso se envía a la segunda sección de tamices para terminar en el almacenamiento final.

En las siguientes imágenes se muestra la planta acoplada mediante tubería creada.

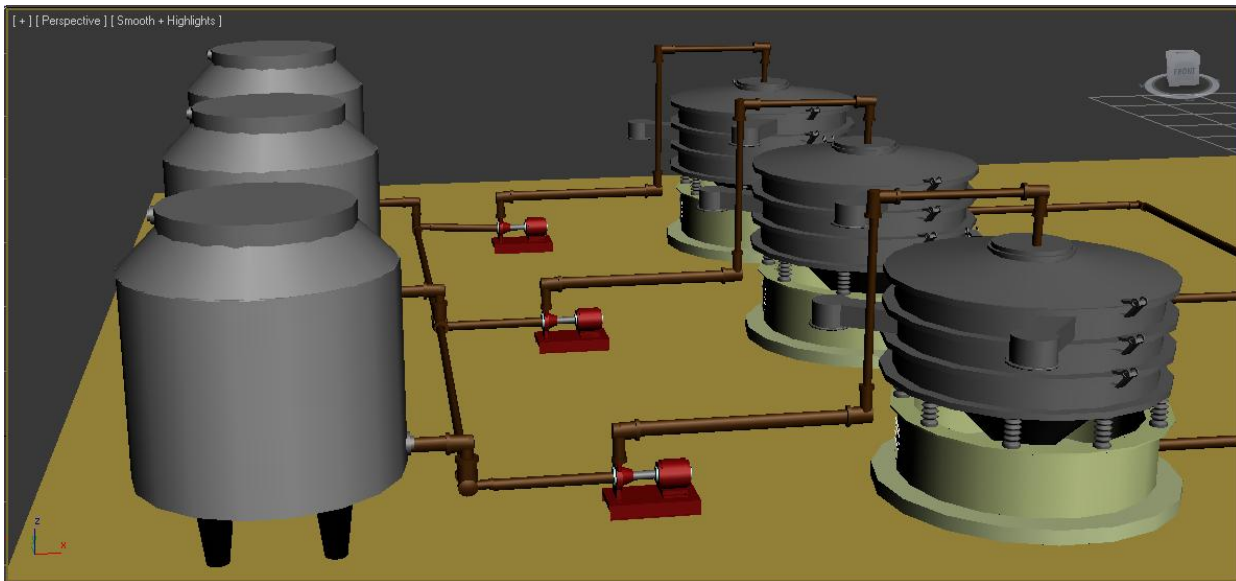


Figura 8.6A

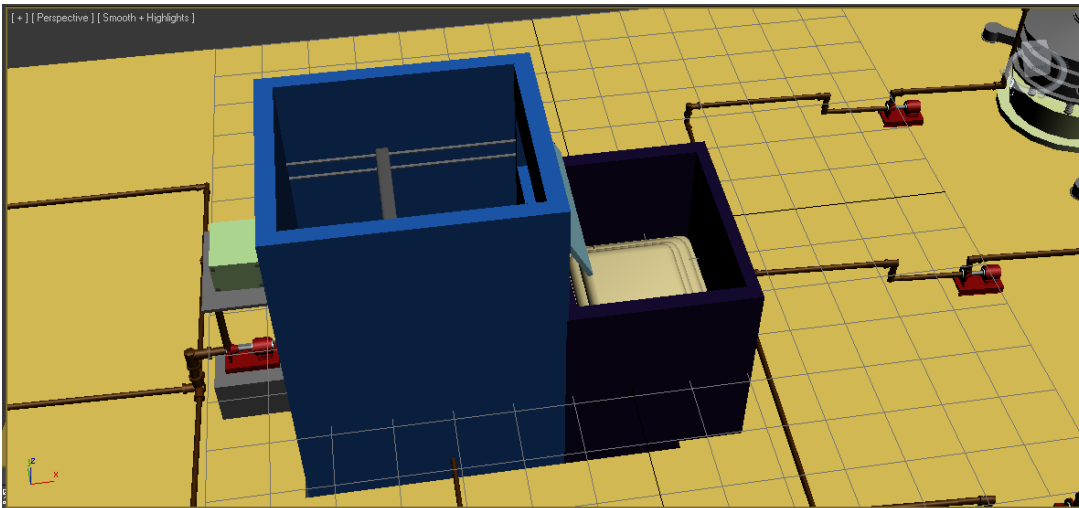


Figura 8.6B

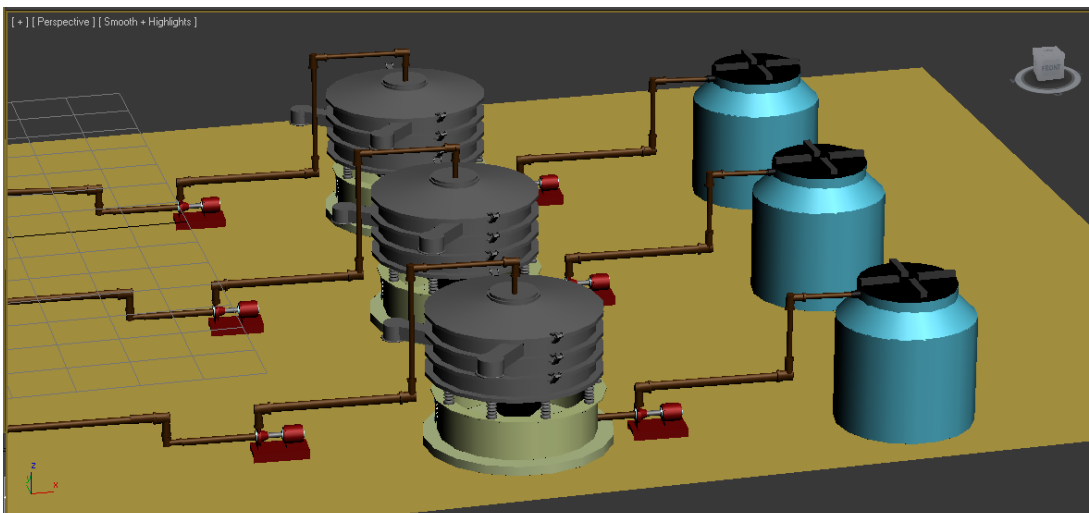


Figura 8.6C

#### 8.4 RECORRIDO VIRTUAL.

Una vez creados los equipos y conectados en un mismo plano, se generó un video que muestra la planta en forma de recorrido, esto es una de las herramientas que 3D MAX nos brinda, de este modo no solo se generan los modelos estáticos, sino que se pueden animar, como es el caso del tanque electrocoagulador que mueve sus rastras y la compuerta para desalojar la espuma residual.

Esta animación del tanque y el recorrido virtual de la planta modelada en 3D, se adjunta en un CD como un archivo independiente a este empastado, en formato de video (mp4),

# CONCLUSIONES.

---

El diseño de la planta establece un antecedente respecto al tratamiento de aguas grises, particularmente del agua producto de lavadoras. De acuerdo con la Comisión Nacional de Agua estamos sobreexplotando el recurso hídrico, es por eso que debemos fomentar el reúso del agua dentro de la sociedad.

El desarrollo experimental aún tiene muchas variaciones y diversas formas de llevarse a cabo, como se mencionó antes, cada proceso en el que se utilice la electrocoagulación debe ser particularizado para obtener la mejor eficiencia que el proceso demande, para el desarrollo de la ingeniería conceptual de este proyecto los resultados nos permitieron establecer una secuencia en la planta y las bases suficientes para generar el diseño conceptual presentado.

Con respecto a los resultados obtenidos en el proyecto, el proceso de electrocoagulación, como se mencionó representa grandes beneficios. Con respecto a los electrodos, podría indagarse más en la geometría apropiada, el espesor correcto, y el número de placas con la finalidad de alcanzar una mayor eficiencia. Es importante controlar con precisión variables como temperatura y corriente eléctrica ya que podrían determinar mejores condiciones de trabajo y lograr mejoras en la remoción de contaminantes.

El mecanismo de limpieza propuesto para los tanques de almacenamiento principal fue mediante un sistema de adición de hipoclorito de sodio, además de ser un método sumamente económico este recurso permite eliminar con gran eficiencia diversos microorganismos como virus y bacterias y así evitar la descomposición de patógenos que generan mal olor. Utilizar hipoclorito de sodio para sanitizar la alimentación principal se ajusta de manera excelente a la técnica de electrocoagulación ya que ambos funcionan en el mismo intervalo de pH (entre 6 y 9).

El mantenimiento de los tamices dependerá de la cantidad de partículas que se recolecten, por la forma en que se ha planteado el diseño, el realizar labores de mantenimiento en un tamiz no afecta el funcionamiento normal de la planta.

Es importante mencionar que conocer la composición de la espuma no es un factor que influya en el desarrollo del proceso, la electrocoagulación funciona de forma indistinta frente a la variabilidad en la composición de entrada, siendo únicamente las variables mencionadas (temperatura, pH, corriente eléctrica, material de electrodos) las que determinan la eficiencia del proceso.

Por otro lado, se propone de igual forma tratar al agua procedente de las regaderas, ya que ésta representa el doble del agua que se obtiene por uso de lavadoras. Las condiciones del agua proveniente de regaderas son similares a las condiciones que presenta el agua proveniente de lavadoras, con ligeras variaciones en la composición de detergentes y microorganismos pero sin importancia en la eficiencia del proceso.

Es importante que para poder llevar a realización este proyecto se deben considerar líneas independientes de tuberías, el beneficio que se lograría al poder llegar a tratar casi la mitad del agua que utilizamos y después darle un reuso aportaría no solo un beneficio económico sino también un beneficio ambiental.

Por lo anterior se propone analizar la posibilidad de crear e impulsar más normatividades para nuevos proyectos de construcción que determine la instalación de tubería independiente en su desarrollo y así tratar el agua gris producida en las viviendas. De dar seguimiento a la legislación y las normatividades actuales, se podría brindar un enorme beneficio a la sociedad.

Con respecto al modelado 3D, también se deja la propuesta de incluir cada vez más, los modelos tridimensionales interactivos tanto al momento de impartir asignaturas como al momento de presentar proyectos, me parece que esta herramienta tridimensional es muy importante ya que con el paso de los años va a convertirse en un elemento imprescindible de cualquier trabajo o proyecto.

Como conclusión final creo que cualquier desarrollo tecnológico que ayude a cuidar y preservar el medio ambiente es sumamente valioso, este trabajo presenta un desarrollo conceptual que busca fomentar el interés por desarrollar más técnicas y proyectos que mejoren la calidad de vida en el planeta.

# APÉNDICE.

---

## I. APÉNDICE ECONÓMICO.<sup>5</sup>

En esta sección se ha recopilado una estimación económica, que comprende una cotización aproximada del costo de los equipos, un costo de mantenimiento, y un pequeño estudio de rentabilidad para comparar el costo por m<sup>3</sup> de agua tratada en la planta frente al costo por m<sup>3</sup> de agua suministrada por el gobierno..

## II. COSTO DE SERVICIOS.<sup>22,31</sup>

En las siguientes tablas se muestra el valor promedio del servicio de luz y agua potable en la ciudad de México.

Tabla A.1 Porcentaje del subsidio gubernamental.

Servicio	Subsidio gubernamental %
Luz	84.6
Agua	87.2

Es necesario mencionar que este subsidio varía según la clasificación de la zona en que se encuentra la vivienda, otro factor que hace disminuir el subsidio es el mayor consumo del servicio, es decir, si el consumo sale del rango básico, el excedente será cobrado con un subsidio menor.

Tabla A.2 Costo del m<sup>3</sup> de agua potable suministrado por el gobierno, considerando el subsidio.

Denominación del suministro	Subsidiado	
	Servicio de agua potable	
	Producto	Costo (\$)
Básico	Primeros 30 m <sup>3</sup>	99
Básico	m3 de agua	3.3
Consumo Adicional	m3 de agua	9.8

En esta tabla se muestra la tarifa que proporciona el gobierno, se considera un rango básico de 0 a 30 m<sup>3</sup> en donde el costo es de \$99 al consumir los 30 m<sup>3</sup>, si el consumo disminuye el subsidio puede alcanzar el 97%, en caso de rebasar el consumo básico la tarifa por m<sup>3</sup> adicional aumenta y el subsidio disminuye.

Tabla A.3 Costo del m<sup>3</sup> de agua potable sin subsidio gubernamental.

No subsidiado		
Servicio de agua potable		
Denominación del suministro	Producto	Costo (\$)
Básico	Primeros 30 m <sup>3</sup>	773.44
Básico	m <sup>3</sup> de agua	25.8
Consumo Adicional	m <sup>3</sup> de agua	76.6

En la tabla anterior se ha hecho un estimado del costo que representa para el gobierno distribuir el m<sup>3</sup> de agua potable, y estos valores muestran el costo real que tendríamos que pagar por el consumo de agua potable sin el subsidio gubernamental.

Tabla A.4 Costo del KW/h en la ciudad de México.

Servicio de luz	
Denominación	Costo (\$/KW/h)
Con subsidio	4.37
Sin subsidio	5.13

La tabla A.4 muestra el costo promedio de la energía eléctrica en el distrito federal, considerando no exceder el consumo básico permitido, de igual forma que con el agua potable si se excede el consumo básico el subsidio gubernamental disminuye, si el consumo de kW/h disminuye el subsidio gubernamental aumenta.

Ahora se presenta un desarrollo económico de la instalación, mantenimiento y servicios de la planta con la finalidad de establecer un costo por m<sup>3</sup> de agua tratado y así establecer una comparativa económica con el agua potable suministrada por el gobierno, para determinar la rentabilidad económica de la planta.

A continuación se presentan los datos estimados de costos de cada uno de los equipos requeridos, del costo de inversión inicial, los gastos de operación, el cambio de la inversión a costo fijo con periodo de retorno o recuperación (PR) de 20 y 30 años y el costo de m<sup>3</sup> de agua tratada durante el periodo de retorno y el costo después del periodo de retorno.



Tabla A.5 Lista de equipos con su costo correspondiente.

Equipo	Cantidad	Costo por unidad (\$)	Costo total (\$)
Tanque metálico de almacenamiento a presión	3	105,000	315,000
Cisterna industrial para almacenamiento de agua	3	75,000	225,000
Tamiz vibratorio	6	80,000	480,000
Bomba centrífuga	12	2,500	30,000
Tanque Electrocoagulador	1	800,000	800,000
		Inversión Total (\$)	1,850,000

Tabla A.6 Costo total de la inversión inicial para el montaje de la planta

Inversión inicial	
Concepto	\$
Costos de adquisiciones	1,850,000
Costos de instalación	200,000
Total	2,050,000

Tabla A.7 Costos de la operación normal de la planta generados por mes.

Costos de Operación Mensual	
Servicios	2,000
Mantenimiento	10,000
Total	12,000

Tabla A.8 Cambio de la inversión inicial a costos fijos en un periodo de retorno.

Inversión (\$)	Período (años)	Inversión Anual (\$)	Inversión mensual (\$)
2,050,000	20	102,500	8,542
2,050,000	30	68333.33	5694.44

Tabla A.9 Costo total debido a la operación de la planta durante un mes.

Costo total mensual de la operación		
Concepto	\$ con PR de 20 años	\$ con PR de 30 años
Inversión	8,542	5694.44
Costos de operación	12,000	12,000
Total	20,542	17,694

Tabla A.10 Costo de producción para cada m<sup>3</sup> de agua tratada producido.

Concepto	PR a 20 años	PR a 30 años
m <sup>3</sup> de agua tratada	400	400
Costo mensual de operación (\$)	20,542	17,694
Costo por m <sup>3</sup> de agua tratada (\$)	51.35416667	44.23611111
Costo por m <sup>3</sup> de agua tratada después del periodo de retorno (\$)	30	30

Podemos observar que el costo monetario del m<sup>3</sup> de agua tratada es mayor al costo subsidiado del m<sup>3</sup> de agua potable pero al comparar el costo sin subsidio se puede ver que el costo del consumo de agua potable dentro del rango básico es menor que el costo de agua tratada, pero al excederse del consumo básico el costo sobre pasa el valor del agua tratada. También se pueden comparar los resultados durante y después del periodo de recuperación.

Tabla A.11 Recopilación final de costos por m<sup>3</sup> potable y m<sup>3</sup> tratado.

DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO	\$
Costo del agua potable con subsidio en el rango básico	3.3
Costo del agua potable con subsidio al exceder el rango básico	9.8
Costo del agua potable sin subsidio en el rango básico	25.8
Costo del agua potable sin subsidio al exceder el rango básico	76.6
Costo del agua tratada durante el periodo de recuperación de 20 años	51.35
Costo del agua tratada durante el periodo de recuperación de 30 años	44.23
Costo del agua tratada después del periodo de recuperación de 20 años	30
Costo del agua tratada después del periodo de recuperación de 30 años	30

# BIBLIOGRAFÍA.

---

## BIBLIOGRAFÍA.

1. Branam Carl, Rules of Thumb for Chemical Engineers, editorial British Library Cataloguing-in-Publication Data, USA 2002, Tercera edición.
2. Valiente Barderas Antonio, Problemas de flujo de fluidos, editorial Limusa, México 2010, segunda edición.
3. Tyler G. Hicks, *Bombas, su selección y aplicación*, editorial continental, México 1978, decimo tercera edición.
4. R. K. Sinnott, Chemical Engineering Design, editorial Butterworth Heinemann, Gran Bretaña 1999, tercera edición.
5. H. G. Thuesen et al, Ingeniería Económica, editorial Prentice – Hall, México 1986, primera edición.
6. Vollrath Hopp, Fundamentos de tecnología, editorial Revertè,. España 1994.
7. Jiri Koryta, Principles of electrochemistry, editorial John Wiley and sons, Inglaterra 1993, segunda edición.
8. División de ingeniería Crane, Flujo de Fluidos en válvulas, accesorios y tuberías, editorial McGRAW – Hill, México 1992, primera edición.
9. Attout, A., Touati, M., Tlili, M., Ben Amor, M., Lopicque, F., Leclerc, J.P., *Influence of operating parameters on phosphate removal from water by electrocoagulation using aluminum electrodes*, Separation and Purification Technology. 123: 124-129, 2014
10. Antonopoulou, G., Kirkou, A., Stasinakis, A. S., *Quantitative and qualitative greywater characterization in Greek households and investigation of their treatment using physicochemical methods*, Science of the Total Environment, 454-455: 426-432, 2013

11. Fung, K. Y., Wibowo, C., *Design of industrial wastewater treatment plants: a multi-faceted problem*, Current Opinion in Chemical Engineering. 2:455-460, 2013
12. SEMARNAT, Estadísticas del agua en México, Comisión nacional del Agua, edición 2011, 185 páginas.
13. Morante G. Gonzalo, Electrocoagulación de aguas residuales, revista colombiana de física, Vol. 34, No. 2, 2002.
14. Restrepo Mejía A. Patricia et al, Electrocoagulación: retos y oportunidades en el tratamiento de aguas., Artículo de revisión de la Universidad Pontificia Bolivariana, 2006.
15. INEGI, Estadística básica sobre medio ambiente, boletín de prensa 121/13, abril 2013.
16. Conagua. Subdirección General de programación, 2010, elaborado a partir de la subdirección general de administración del agua 2010.
17. PROFECO, Lavadoras de ropa, Laboratorio nacional de protección al consumidor, revista del consumidor 2007.

## **REFERENCIAS.**

18. INEGI, Instituto Nacional de Estadística y Geografía, <http://www.inegi.org.mx/>, Consultado enero, febrero y marzo 2014.
19. CONAGUA, Comisión Nacional del Agua, <http://www.conagua.gob.mx/>, Consultado enero, febrero y marzo 2014.

20. Archivo Histórico del agua, <http://archivohistoricodelagua.info/index.php/la-historia-de-los-usos-del-agua-en-mexico-aha.html>, Consultado febrero 2014.
21. INECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, <http://vivienda.inecc.gob.mx/index.php/agua/usos-en-el-hogar/en-el-bano>, Consultado del 3 de febrero al 17 de febrero, año 2014.
22. NECC, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, <http://vivienda.inecc.gob.mx/index.php/agua/recoleccion-reciclado-y-reuso-de-agua/aguas-grises>, Consultado del 3 de febrero al 17 de febrero, año 2014.
23. Hogares verdes, <http://hogares-verdes.blogspot.com.es/2012/06/cuanto-agua-se-consume-en-un-hogar-y-en.html>, Consultado Febrero 2014.
24. El Financiero, <http://www.elfinanciero.com.mx/archivo/unidades-habitacionales-del-df-en-la-opacidad.html>, Consultado Febrero 2014.
25. Tejidos Metálicos de uso industrial, <http://www.ingefilter.com/pdf/Mallas.pdf>, Consultado el 15 de marzo 2014.
26. Centro Virtual de Información del agua.  
[http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com\\_content&view=section&id=6&Itemid=300004](http://www.agua.org.mx/h2o/index.php?option=com_content&view=section&id=6&Itemid=300004), Consultado febrero y marzo 2014.
27. ININ, Instituto Nacional De Investigaciones Nucleares.  
La contaminación en el curso alto del río Lerma, Consultado el 2 de mayo 2014  
<http://www.inin.gob.mx/publicaciones/documentospdf/52%20LA%20CONTAMINACION.pdf>
28. CFE, Comisión Federal de Electricidad, <http://www.cfe.gob.mx/paginas/home.aspx>, Consultado marzo 2014.