



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE
UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE
TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

INGENIERA QUÍMICA

PRESENTA

AIMEE LUCIA ALCANTAR DOMINGUEZ



CDMX 2021



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE: Profesor: JUAN MARIO MORALES CABRERA

VOCAL: Profesor: LUZ MARIA LAZCANO ARRIOLA

SECRETARIO: Profesor: ELISA ELVIRA GUINEA CORRES

1er. SUPLENTE: Profesor: YAMILETH YAZMIN MARTINEZ VEGA

2° SUPLENTE: Profesor: DAVID FRAGOSO OSORIO

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

**FACULTAD DE QUIMICA, CIRCUITO EXTERIOR S/N, COYOACÁN, CD.
UNIVERSITARIA, 04510 CIUDAD DE MÉXICO**

ASESOR DEL TEMA:

JUAN MARIO MORALES CABRERA

SUSTENTANTE:

AIMEE LUCIA ALCANTAR DOMINGUEZ

AGRADECIMIENTOS

-A mi tutor, por sus consejos, y paciencia durante todo este proceso

-A mis padres, que me enseñaron, entre otras cosas, a persistir para alcanzar mis metas

-A mis hermanos, por ser mis compañeros de aprendizaje

-A mis personas especiales, aquellas que están y estuvieron

-A la vida, por permitírmelo

ÍNDICE

1	Introducción	1
2	Objetivos.....	2
2.1	Objetivo general	2
2.2	Objetivos particulares.....	2
3	Antecedentes.....	2
3.1	Aspectos generales de las aguas residuales	2
3.1.1	Definición y clasificación de las aguas residuales	2
3.1.2	Características de las aguas residuales	3
3.1.2.1	Caracterización del agua residual	11
3.1.3	Legislación ambiental mexicana aplicable a aguas residuales	13
3.2	Tratamiento de aguas residuales	15
3.2.1	Historia del tratamiento de aguas residuales.....	15
3.2.2	Sistema de tratamiento de aguas residuales.....	17
3.2.3	Niveles de tratamiento	20
3.2.4	Panorama general de la situación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en México.....	24
4	Procedimiento.....	30
4.1	Funcionamiento y mal funcionamiento	32
4.1.1.1	Sobre diseño y bajo diseño	33
4.2	Fuentes de mal funcionamiento	33
4.3	Ciclo de vida de un proyecto	34
4.3.1	Definición y Partes del Ciclo de vida de un proyecto	34
4.3.2	Delimitación de la parte del Ciclo de vida de un proyecto a analizar y aplicable a la primera fuente de mal funcionamiento	40
4.3.2.1	Bases de diseño.....	41
4.3.2.2	Sobre diseño y bajo diseño aplicable a la primera fuente de mal funcionamiento	46
4.3.3	Delimitación de la parte del Ciclo de vida de un proyecto a analizar y aplicable a la segunda fuente de mal funcionamiento	48
4.3.3.1	Actividades propias de la Ingeniería básica	48

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

4.3.3.2	Sobre diseño y bajo diseño aplicable a la segunda fuente de mal funcionamiento	57
5	Resultados	58
5.1	Aplicación del mal funcionamiento dentro del caso de estudio: PTAR de una manera general	58
5.1.1	Ramas de la ingeniería involucradas dentro del mal funcionamiento en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales	70
6	Discusión	72
7	Conclusiones	77
8	Bibliografía	79

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Características de las aguas residuales. Modificada de (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003)	4
Tabla 2.	Microorganismos comunes transportados por el agua. Modificada de (Valdez & Vázquez, 2003).....	10
Tabla 3.	Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales. Modificada de (CONAGUA, 2019)	15
Tabla 4.	Operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes presentes en el agua residual. Tomada de (Valdez & Vázquez, 2003)	19
Tabla 5.	Concepto de sobre diseño y bajo diseño. Elaboración propia.....	33
Tabla 6.	Desglose de las operaciones unitarias que conforma el Pretratamiento. Elaboración propia	50
Tabla 7.	Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento primario. Elaboración propia	51
Tabla 8.	Procesos unitarios que conforma el Tratamiento secundario. Elaboración propia	53
Tabla 9.	Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento terciario. Elaboración propia	54
Tabla 10.	Instrumentos comúnmente utilizados dentro de una PTAR. Elaboración propia	55
Tabla 11.	Casos de mal funcionamiento presentados dentro del pretratamiento..	60

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 12. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Primario.....	61
Tabla 13. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Secundario.....	63
Tabla 14. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Terciario.....	67
Tabla 15. Casos de mal funcionamiento presentados dentro de una PTAR de manera general.....	69
Tabla 16. Mal funcionamiento de una PTAR tomando en cuenta las distintas ramas de ingeniería aplicables.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Planta de tratamiento de aguas residuales municipales METEPEC I SEDAGRO, en el Estado de México. Tomada de (Mendoza, 2011).....	5
Figura 2. Esquema de clasificación de los sólidos en el agua. Modificada de (Metcalf y Eddy, Inc., 1995).....	7
Figura 3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, año de construcción 1968. Tomada de (Google Earth Pro, 2020).....	17
Figura 4. Esquema general del tratamiento de aguas residuales. Adaptada de (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013).....	18
Figura 5. Cribado por medio de rejas. Tomada de (CONAGUA, 2019).....	21
Figura 6. Sedimentadores circulares de la PTAR El Crestón Mazatlán. Tomado de (Jumapam, 2021).....	22
Figura 7. Tratamiento secundario mediante Lodos Activados. Tomada de (Junco, 2015).....	23
Figura 8. Equipo de dosificación de hipoclorito de sodio. Tomada de (Nuevo, 2018).....	23
Figura 9. Lodos residuales generados durante el tratamiento de aguas residuales. Tomada de (Danielvif, 2011).....	24
Figura 10. Número de plantas y tipo de proceso que utilizan para el tratamiento de aguas residuales municipales. 2018. Tomado de (CONAGUA, 2018).....	25

**INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES**

Figura 11. PTAR abandonada en la comunidad de San Pablo Atlazalpan. Tomada de (Periódico La Jornada, 2019)	27
Figura 12. Pasos empleados para lograr el objetivo propuesto. Elaboración propia	31
Figura 13. Delimitación de la etapa y fase delimitadas dentro del Ciclo de vida de un proyecto. Elaboración propia.....	40
Figura 14. Derivaciones de diseño que se pueden presentar dentro de las Bases de diseño. Elaboración propia.....	47
Figura 15. Ejemplo de aguas residuales en Reactor biológico con presencia de grasas y aceites en la superficie. Tomada de (Teqma, 2018)	48
Figura 16. Derivaciones del diseño que se pueden presentar dentro de las actividades propias de la ingeniería básica. Elaboración propia	57
Figura 17. Equipo de bombeo expuesto en una zona riesgosa dentro de la PTAR Tlalpizahuac (Espinoza & Sepúlveda, Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de México en los Informes de la Auditoria Superior de la Federación 2012-2013, 2015)	58
Figura 18. Diagrama de flujo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales convencional. Elaboración propia.....	59
Figura 19. Sedimentador primario fuera de servicio de la PTAR Cuatro Vientos, Ixtapaluca, Edo Mx. (Espinoza & Sepúlveda, (Trabajo de Investigación), 2015) ..	63
Figura 20. Reactor biológico de la PTAR San Luis Tlaxialtemalco, con lodos en la superficie. (Riveros, 2013)	67
Figura 21. Cilindros de cloro utilizados para la desinfección de agua en el tratamiento terciario. (CONAGUA, 2019)	68
Figura 22. Tanque de almacenamiento de agua tratada, daños por hundimiento del terreno donde se encuentra la PTAR San Juan de Aragón, CdMx. (Riveros, 2013)	70

1 Introducción

El propósito principal del tratamiento del agua residual es remover el material contaminante, orgánico e inorgánico, el cual puede estar en forma de partículas en suspensión y/o disueltas, con el objetivo de alcanzar una calidad de agua requerida por la normativa de descarga o por el tipo de reutilización a la que se destinará (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013, p. 7).

Para la prevención de la contaminación ambiental, al igual que para la protección de la salud pública, el tratamiento de aguas residuales es fundamental (de la Vega, 2012). Sin embargo, en muchos casos la instalación de la planta de tratamiento enfrenta diversos problemas a lo largo de su vida útil, generando desechos tóxicos como resultado de su operación (Lahera, 2010).

México no es ajeno a dicha problemática, ya que factores como el aumento del número de habitantes en nuestro país, la poca participación y concientización de la población en lo referente al tema de aguas residuales, la falta de atención por parte de las autoridades competentes, la existencia generalizada de sistemas de drenaje en los que se combinan aguas negras y de lluvia, los costos de operación y mantenimiento de las plantas de tratamiento, entre otros; hacen que las aguas residuales para reúso, reincorporación a los cuerpos de agua superficiales o infiltración a los mantos freáticos no sea una opción generalizada (de la Vega, 2012).

Por lo que, existe un rezago importante no solo en el ámbito social y gubernamental en lo referente a las plantas de tratamiento, también en el propio funcionamiento de éstas; dichas problemáticas hacen necesario establecer un análisis centrado en el mal funcionamiento dentro de las plantas de tratamiento de aguas residuales municipales desde un enfoque de ingeniería.

Este trabajo tiene la finalidad de profundizar y exponer el mal funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, tomando como referencia el Ciclo de vida de un proyecto y comprender sus posibles causas,

además, presentar dos fuentes de mal funcionamiento, y aplicarlas a casos reportados de mal funcionamiento en la literatura, con la finalidad de facilitar la detección de las posibles fallas dentro del proceso, aun cuando la planta esté en operación.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

El objetivo del presente trabajo es exponer el mal funcionamiento que se presenta en las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales municipales.

2.2 Objetivos particulares

- Comprender las posibles causas de mal funcionamiento que existen dentro de las Plantas de Tratamiento de Aguas residuales municipales.
- Presentar dos fuentes de mal funcionamiento, tomando como referencia el Ciclo de vida de un proyecto.
- Aplicar las dos fuentes a casos de mal funcionamiento reportados en la literatura.

3 Antecedentes

3.1 Aspectos generales de las aguas residuales

3.1.1 Definición y clasificación de las aguas residuales

De acuerdo con la Ley de Aguas Nacionales, las aguas residuales se definen como “aguas de composición variada provenientes de las descargas de usos público urbano, doméstico, industrial, comercial, de servicios, agrícola, pecuario, de las plantas de tratamiento y en general, de cualquier uso, así como la mezcla de ellas” (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2020, p. 2).

Por ende, es muy importante distinguir los distintos tipos de aguas residuales, para llevar a cabo un tratamiento adecuado de éstas.

Es común clasificar a las aguas residuales en dos tipos:

- Industriales
- Municipales

Aguas Residuales Industriales

Aquellas generadas por la industria, por lo que en muchas ocasiones las aguas residuales industriales requieren tratamiento antes de ser descargadas en el sistema de alcantarillado municipal; las características de las aguas residuales industriales varían de una industria a otra, así como los procesos de tratamiento. Cabe resaltar que, existen aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo cual se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado (Valdez & Vázquez, 2003).

Cabe resaltar que el tratamiento específico de las aguas residuales industriales está fuera de los alcances del presente trabajo.

Aguas residuales municipales

Para efectos del este trabajo, se considerará a las aguas residuales municipales como aquellas provenientes de residencias, instituciones, establecimientos comerciales e industriales (siempre y cuando cuenten con características compatibles con las aguas residuales municipales).

3.1.2 Características de las aguas residuales

La calidad del agua residual está en función de su caracterización con base en sus parámetros físicos, químicos y biológicos, así como su flujo. Las características de las aguas residuales de una comunidad tienen grandes variaciones que dependen de factores como el consumo de agua potable, el tipo de sistema de alcantarillado y la presencia de desechos industriales (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003, p. 65).

En la tabla 1 se muestran las principales características físicas, químicas y biológicas del agua residual.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 1. Características de las aguas residuales. Modificada de (Ramos, Sepúlveda, & Villalobos, 2003)

Características			
Propiedades físicas	Color	Olor	Sólidos
	Temperatura	Conductividad	Turbidez
	Material flotante	Densidad	Aspecto
Constituyentes químicos	<i>Orgánicos</i>		
	Carbohidratos	Tensoactivos	Fenoles
	Proteínas	Compuestos orgánicos volátiles	Plaguicidas
	Grasas	Aceites	
	<i>Inorgánicos</i>		
	Alcalinidad	Cloruros	Metales pesados
	Nitrógeno	Fósforo	pH
	Azufre		
	Gases		
	Sulfuro de hidrógeno	Amoniaco	Metano
	Constituyentes biológicos	Animales	Protistas
Virus			

En seguida se describen algunas de las características físicas, químicas y biológicas mencionadas en la tabla anterior (tabla 1).

Características físicas

Color: El agua residual reciente suele tener un color grisáceo, al aumentar el tiempo de transporte en las redes de alcantarillado y al desarrollarse condiciones más próximas a las anaerobias, el color cambia gradualmente de gris a gris oscuro, para finalmente adquirir color negro. Llegando este punto, suele clasificarse el agua residual como séptica.

En la mayoría de los casos, el cambio de color es debido a la formación de sulfuros metálicos por reacción del sulfuro liberado en condiciones anaerobias con los metales presentes en el agua residual.

Olor: Normalmente los olores del agua residual son debidos a los gases liberados durante el proceso de descomposición de la materia orgánica. El agua residual reciente tiene un olor más tolerable que el agua residual séptica. El olor más

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

característico es el debido a la presencia de sulfuro de hidrógeno que se produce al reducirse los sulfatos a sulfitos por acción de microorganismos anaerobios.

Densidad: La densidad del agua residual se define como su masa por unidad de volumen. En ocasiones, se emplea como alternativa a la densidad el peso específico del agua residual. Ambos parámetros, la densidad y el peso específico dependen de la temperatura y varían en función de la concentración total de sólidos en el agua residual.

Temperatura: La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C, debido a la incorporación de agua caliente procedente de las edificaciones o de los usos industriales (Metcalf y Eddy, Inc., 1995).

En la figura 1 se observa agua residual municipal fresca y aerobia de color gris, de la PTAR Metepec I SEDAGRO.



Figura 1. Planta de tratamiento de aguas residuales municipales METEPEC I SEDAGRO, en el Estado de México. Tomada de (Mendoza, 2011)

Sólidos: Las características de los sólidos varían del tipo de fuente y proceso del cual provienen, a continuación, se describen los diferentes tipos de sólidos, mismos que se encuentran en las aguas residuales (Jiménez, 2001; Metcalf y Eddy, Inc., 1995)

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Sólidos totales (ST): se entiende por sólido la materia que se obtiene como residuo después de someter al agua a un procedimiento de evaporación (Temperatura entre 103- 105°C).

Sólidos sedimentables (SSed): Cantidad de materia que se sedimenta de una muestra en un periodo de tiempo (60 min), en un recipiente de forma cónica (cono Imhoff).

Haciendo pasar un volumen conocido de líquido por un filtro de fibra de vidrio (con tamaño nominal de poro de 1.2 μm) o de membrana de policarbonato, se obtienen los SS y SF.

Sólidos en suspensión (SS): cantidad de sólidos no filtrables que tiene una muestra de agua, tras ser secado el filtro a una Temperatura de 103-105°C.

Los sólidos en suspensión a su vez se dividen en sólidos en suspensión sedimentables y sólidos en suspensión no sedimentables.

Los sólidos en suspensión representan la fracción de contaminante susceptible a ser eliminada por sedimentación, floculación o filtración. Lo constituye materia inorgánica como: arcillas, arenas, suelos; y orgánicas como: fibras de plantas, células de algas, bacterias, microorganismos, etc. El impacto de provoca la presencia de sólidos en suspensión es la formación de un área expuesta a la adsorción de agentes químicos y biológicos y la presencia de materia orgánica que al degradarse deteriora la calidad del agua.

Sólidos filtrables (SF): cantidad de sólidos no retenidos al pasar por el filtro de 1.2 μm , el agua filtrada se lleva a evaporación a una Temperatura de 103-105°C.

Los sólidos en filtrables a su vez se dividen en sólidos en filtrables coloidales (partículas con diámetro de 10^{-3} -1 μm) y sólidos en filtrables disueltos (iones o moléculas que se encuentran diluidas en el agua).

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

La concentración de sólidos disueltos en el agua se debe a la presencia de minerales, gases, productos de descomposición de materia orgánica metales y compuestos químicos orgánicos.

Tanto los sólidos en suspensión (SS) como los sólidos filtrables (SF), se pueden someter a un proceso de incineración o análisis de volatilidad (Temperatura de $550\pm 50^{\circ}\text{C}$) en una mufla, con el fin de obtener el material que se pierde por ignición y el que permanece. A estos sólidos se les llama sólidos volátiles y sólidos fijos.

Sólidos Fijos: cantidad de sólidos remanentes después del proceso de incineración, indicativo de la presencia de sólidos inorgánicos o minerales.

Sólidos volátiles: cantidad de sólidos que se volatizarán después del proceso de incineración, indicativo de la materia orgánica incluyendo microorganismos.

Con base a la información anterior, en la figura 2 se muestra un esquema de la clasificación de los sólidos presentes en las aguas residuales.

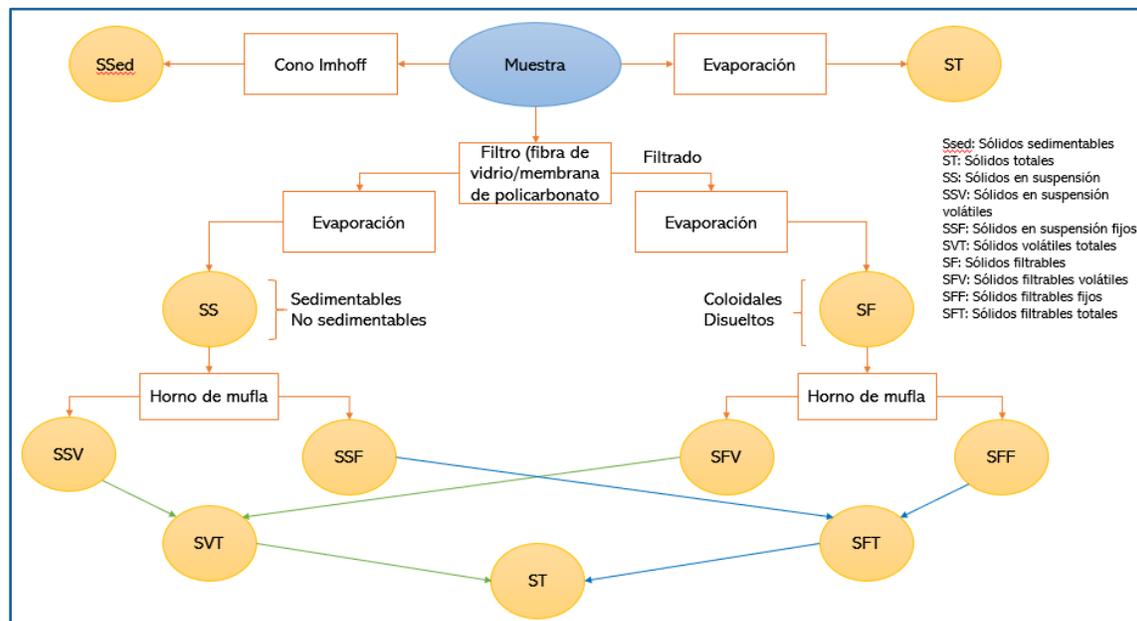


Figura 2. Esquema de clasificación de los sólidos en el agua. Modificada de (Metcalf y Eddy, Inc., 1995)

Características químicas

Dentro de las características químicas de las aguas residuales se encuentran:

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Materia orgánica
- Materia inorgánica
- Gases presentes en el agua residual

Materia orgánica

Son sólidos que provienen de los reinos animal y vegetal, así como de las actividades humanas relacionadas con la síntesis de compuestos orgánicos. Los compuestos orgánicos están formados normalmente por combinaciones de carbono, hidrógeno y oxígeno, con la presencia, en determinados casos, de nitrógeno. También pueden estar presentes otros elementos como azufre, fósforo o hierro.

Los principales grupos de sustancias orgánicas presentes en el agua residual son:

- Proteínas
- Hidratos de carbono
- Grasas y aceites

Otro compuesto orgánico con importante presencia en el agua residual es la urea. No obstante, debido a la velocidad del proceso de descomposición de la urea, raramente está presente en aguas residuales que no sean muy recientes.

El agua residual también contiene cantidades de moléculas orgánicas sintéticas, cuya estructura puede ser desde muy simple a extremadamente complejas, como por ejemplo agentes tensoactivos, contaminantes orgánicos prioritarios, compuestos orgánicos volátiles y los pesticidas de uso agrícola.

Materia inorgánica

Son varios los componentes inorgánicos de las aguas residuales que tienen importancia para la determinación y control de la calidad del agua. Algunos de estos componentes son:

Cloruros, hidróxidos, carbonatos, bicarbonatos, nitrógeno, azufre, fósforo así como compuestos tóxicos inorgánicos (muchos de dichos compuestos están clasificados como contaminantes prioritarios, el cobre, el plomo, la plata, el cromo, el arsénico, y el boro son tóxicos en mayor o menor grado para los microorganismos, razón por la cual deben de ser considerados en el proyecto de plantas de tratamiento biológico), así como metales pesados (como constituyentes importantes de muchas aguas, también se encuentran cantidades, a niveles traza, de muchos metales. Entre ellos níquel, manganeso, cadmio, zinc, cobre, hierro y el mercurio).

Gases

Los gases que con mayor frecuencia se encuentran en las aguas residuales brutas son el nitrógeno, oxígeno, dióxido de carbono, sulfuro de hidrógeno, amoníaco y metano.

Los tres primeros son gases de común presencia en la atmósfera, y se encuentran en todas las aguas en contacto con la misma. Los tres últimos proceden de la descomposición de la materia orgánica presente en las aguas residuales (Metcalf y Eddy, Inc., 1995).

Características biológicas

Los microorganismos patógenos que se pueden encontrar en las aguas residuales son:

- Bacterias
- Virus
- Protozoarios
- Gusanos parásitos

En la tabla 2 se muestran las enfermedades comunes que pueden ocasionar, así como sus nombres.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 2. Microorganismos comunes transportados por el agua. Modificada de (Valdez & Vázquez, 2003)

Microorganismos	Nombres	Enfermedades
Bacterias	<i>Francisella tularensis</i> <i>Leptospira</i> <i>Salmonella paratyphi</i> (A, B, C) <i>Salmonella typhi</i> <i>Shigella</i> (<i>S. Flexneri</i> , <i>S. Sonnei</i> , <i>S. Dysenteriae</i> , <i>S. Boydii</i>) <i>Vibrio comma</i> (<i>Vibrio cholerae</i>)	Tularemia Leptospirosis Paratifoidea (fiebre entérica) Fiebre tifoidea, fiebre entérica Shigelosis (disentería bacilar) Cólera
Virus	<i>Poliomyelitis</i> (3 tipos) <i>Virus desconocidos</i>	Poliomyelitis aguda, parálisis infantil Hepatitis infecciosa
Protozoarios	<i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i>	Amebiasis (disenteria amebiana, enteritis amebiana, colitis amebiana) Giardiasis (enteritis giardia, lambliasis)
Helmintos (Gusanos parásitos)	<i>Dracunculus medinensis</i> <i>Echinococcus</i> <i>Shistosoma</i> (<i>S. Mansoni</i> , <i>S. Japonicum</i> , <i>S. Haematobium</i>)	Dracontiasis (dracunculiasis; dracunculosis; medina; infección serpiente, dragón o gusano-guinéa) Equinococosis Squistosomiasis (bilharziasis o enfermedad de "Bill Harris")

Como menciona (Valdez & Vázquez, 2003), aunque es raro que estén presentes los microorganismos que causan algunas de las enfermedades más severas, por seguridad se asume que estos microorganismos que lo están en un número significativo y que representan un peligro para la salud. En seguida se detallan a los microorganismos antes mencionados.

- Bacterias: microorganismos unicelulares, comúnmente sin color, constituyen la menor forma de vida capaz de sintetizar el protoplasma a partir de su

ambiente. Pueden tener forma cilíndrica o de bastón, oval o esférica o espirales. Los desórdenes intestinales son síntomas comunes de la mayoría de las enfermedades transmitidas por bacterias transportadas por el agua.

- Virus: estructuras biológicas inferiores, se conoce que contienen toda la información genética necesaria para su propia reproducción. Son tan pequeños que sólo se pueden observar por un microscopio electrónico. Los virus son parásitos obligados que requieren un huésped en donde alojarse. Los síntomas asociados con infecciones causadas por virus transportados por el agua involucran desórdenes del sistema nervioso.
- Protozoarios: organismos unicelulares más complejos que las bacterias y los virus en su actividad funcional. Son organismos que pueden vivir libremente o en forma parásita. Pueden ser patógenos o no patógenos, microscópicos o macroscópicos; sólo unos cuantos protozoarios acuáticos son patógenos.
- Helmintos: conocidos también como gusanos parásitos, su ciclo de vida frecuentemente incluye dos o más animales huéspedes, uno de los cuales puede ser humano. La contaminación del agua puede ser causada por el vertido de desechos animales y humanos que contienen helmintos.

3.1.2.1 Caracterización del agua residual

La caracterización de un agua residual consiste en determinar, mediante una serie de pruebas de laboratorio, la concentración de los elementos o compuestos químicos y biológicos que estén presentes en muestras representativas. El número y tipo de compuesto de compuestos por determinar está en función del origen del agua residual y de su sitio de disposición final, que es tomado como base para fijar las condiciones de descarga.

Algunos de los análisis principales utilizados en la caracterización del agua residual, asociados con el contaminante que miden son:

- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO). El contaminante considerado para este análisis es la materia orgánica biodegradable, y su efecto es el

abatimiento del oxígeno disuelto en cuerpo receptor. Crecimiento de microorganismos.

- Demanda química de oxígeno (DQO) o carbono orgánico total (COT). El contaminante considerado es la materia orgánica total, y sus efectos son los mismos que DBO. Acumulación en cuerpo receptor. Riesgos de toxicidad.
- Sólidos suspendidos totales (SST), Volátiles (SSV) y fijos (SSF). El contaminante considerado es la materia en suspensión sedimentable y no sedimentable (coloidal), y su efecto es la sedimentación y azolvamientos en cuerpos receptores. Digestión y liberación de materia orgánica e inorgánica.
- Nitrógeno total Kjeldhal (NTK), nitratos y nitritos (NO_3^- , NO_2^-), fósforo total (P_t), ortofosfatos (PO_4^{3-}). Los contaminantes considerados son nitrógeno y fósforo y sus efectos son la contaminación de acuíferos, así como que dichos nutrientes provocan eutrofización en cuerpos de agua.
- Grasas y aceites. Los contaminantes considerados con las grasas y los aceites, y sus efectos son la acumulación en drenajes y cuerpos de agua. Reducen la transferencia de oxígeno a los cuerpos de agua. Flotación de lodos. Contaminación visual.
- Sólidos disueltos totales. Los contaminantes considerados son las sales inorgánicas y su impacto es que restringen el uso de agua tratada.
- Coliformes fecales y huevos de helmintos. Los contaminantes considerados son los patógenos y parásitos, sus impactos son la transmisión de enfermedades gastrointestinales.

Una vez que se ha caracterizado el agua residual, es necesario definir su reutilización o disposición final conforme a los requerimientos necesarios para cumplir con legislación aplicable (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013).

Para la caracterización del agua residual se emplean tanto métodos de análisis cuantitativos, para la determinación precisa de la composición química del agua residual, como análisis cualitativos para el conocimiento de las características físicas y biológicas. Los métodos cuantitativos pueden ser gravimétricos, volumétricos o fisicoquímicos (Metcalf y Eddy, Inc., 1995, p. 55).

3.1.3 Legislación ambiental mexicana aplicable a aguas residuales

En México, los servicios públicos relacionados con los servicios del agua se presentan en el artículo 115 constitucional y menciona lo siguiente:

III. Los Municipios tendrán a su cargo las funciones y servicios públicos siguientes:

- a) Agua potable, drenaje, alcantarillado, tratamiento y disposición de sus aguas residuales; [...]

Esta facultad se ejerce en el marco de las leyes federales y estatales (CONAGUA, 2019, p. 4).

Por otro lado; La Ley de Aguas Nacionales es reglamentaria del Artículo 27 de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos en materia de aguas nacionales; es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tiene por objeto regular la explotación, uso o aprovechamiento de dichas aguas, su distribución y control, así como la preservación de su cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

En específico en el Título Séptimo de dicha ley se conforma del Capítulo I (del Artículo 85 al 96), y del Capítulo II (Artículo 96BIS y 96BIS 1); en donde se encuentra lo referente a la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas y Responsabilidad por Daño Ambiental (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2020).

Además, se cuenta con el Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales, el cual tiene por objeto reglamentar la Ley de Aguas Nacionales; dentro de dicho documento, en el Título Séptimo se encuentra los Artículos referentes a la Prevención y Control de la Contaminación de las Aguas (del Artículo 133 al 156) (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2014).

Por otra parte; el tema de la prevención y control de la contaminación de las aguas es tratado tanto en la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al

Ambiente (LGEEPA) como por la Ley de Aguas Nacionales y su respectivo Reglamento.

La Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) es reglamentaria de las disposiciones de la Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos que se refieren a la preservación y restauración del equilibrio ecológico, así como a la protección al ambiente, en el territorio nacional y las zonas sobre las que la nación ejerce su soberanía y jurisdicción. Sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen por objeto propiciar el desarrollo sustentable y establecer las bases para: [...]

Título Primero, Capítulo I, Artículo 1, Fracción V.- El aprovechamiento sustentable, la preservación y, en su caso, la restauración del suelo, el agua y los demás recursos naturales, de manera que sean compatibles la obtención de beneficios económicos y las actividades de la sociedad con la preservación de los ecosistemas;

Fracción VI. - La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo. [...]

Dentro del capítulo III de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente (LGEEPA) se encuentran los artículos referentes a la Prevención y Control de la Contaminación del Agua y de los Ecosistemas Acuáticos (del Artículo 117 al 133), de igual manera se encuentra los criterios a cumplir en lo referente a las aguas residuales (Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión, 2018).

En cuanto a las normas oficiales mexicanas; estas son regulaciones técnicas de observancia obligatoria que establecen reglas, especificaciones, atributos, directrices, características o prescripciones aplicables a un producto, proceso, instalación, sistema, actividad, servicio o método de producción u operación, así como aquellas relativas a terminología, simbología, embalaje, mercado o etiquetado y las que se refieran a su cumplimiento o aplicación (PROFECO, 2015).

Las aguas residuales tratadas tienen que cumplir normas específicas de calidad antes de que se puedan volver a usar, o con normas estrictamente definidas antes de que se puedan descargar en un cuerpo de agua. El ingeniero encargado del proyecto tiene la responsabilidad de cumplir dichos requerimientos a un mínimo costo (CONAGUA, 2019, p. 3).

En la tabla 3 se presentan las Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el tratamiento de las aguas residuales.

Tabla 3. Normas Oficiales Mexicanas relacionadas con el tratamiento de aguas residuales. Modificada de (CONAGUA, 2019)

Normas Oficiales Mexicanas	Que establece
NOM-001-SEMARNAT-1996	Los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales
NOM-002-SEMARNAT-1996	Los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal
NOM-003-SEMARNAT-1997	Los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público
NOM-004-SEMARNAT-2002	Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final
NOM-014-CONAGUA-2003	Requisitos para la recarga artificial de acuíferos con agua residual tratada
NOM-015-CONAGUA-2007	Características y especificaciones de las obras y del agua para infiltración artificial a acuíferos

3.2 Tratamiento de aguas residuales

3.2.1 Historia del tratamiento de aguas residuales

El inicio del tratamiento de las aguas residuales data de fines de 1800 y coincide con la época de la higiene. Se desarrolló como consecuencia de la relación entre la contaminación de los cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

En un principio, el tratamiento se hacía mediante la descarga de las aguas residuales al suelo, sin embargo, la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber un flujo creciente de aguas residuales, por lo que, se reemplazó con la descarga directa a los cuerpos naturales de aguas superficiales, con el criterio de que *“la solución a la contaminación era la dilución”*, se confió en la capacidad de asimilación de las corrientes antes de que el tratamiento fuera considerado necesario.

Cabe resaltar que, el tratamiento de las aguas residuales fue considerado necesario después de que la *capacidad de autopurificación* de los cuerpos receptores se excedió y se volvieron condiciones intolerables.

A finales del siglo XIX y principios del XX se probaron varios procesos de tratamiento, se estudió la precipitación química, digestión de lodos, filtración intermitente en arena, filtración en lechos de contacto, aeración de aguas residuales y finalmente en 1912 se desarrolló del proceso de lodos activados y alrededor de 1920, el tratamiento de las aguas residuales había evolucionado hasta llegar a los procesos que se usan comúnmente.

El diseño de PTAR (Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales) se hizo empíricamente hasta mediados del siglo XX. A partir de 1960 se tuvieron avances importantes en el conocimiento del tratamiento de aguas residuales, y se formularon y cuantificaron los procesos originales.

En México, durante la mayor parte del siglo XX el tratamiento de las aguas residuales no se hizo de manera extendida en el país; posteriormente, se creó un marco normativo con el objetivo de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos de aguas receptoras (CONAGUA, 2019; Valdez & Vázquez, 2003).

En la figura 3 se muestra la vista aérea de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, una de las plantas de aguas residuales más representativas de la Ciudad de México.



Figura 3. Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Cerro de la Estrella, año de construcción 1968. Tomada de (Google Earth Pro, 2020)

3.2.2 Sistema de tratamiento de aguas residuales

De un modo general, el tratamiento de aguas residuales persigue evitar:

- Contaminación a las fuentes de abastecimientos públicos, privados e industriales
- Contaminación a las aguas destinadas a la recreación y el esparcimiento
- Contaminación a las actividades piscícolas
- Perjuicios a la agricultura y depreciación del valor de la tierra
- Impacto al entorno ecológico

El tratamiento de las aguas residuales ha sido una consecuencia del desarrollo de la civilización y se caracteriza por el aumento de la densidad demográfica y expansión industrial (CONAGUA, 2019, p. 12).

A continuación, en la figura 4 se presenta un esquema general de un sistema de tratamiento de aguas residuales.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

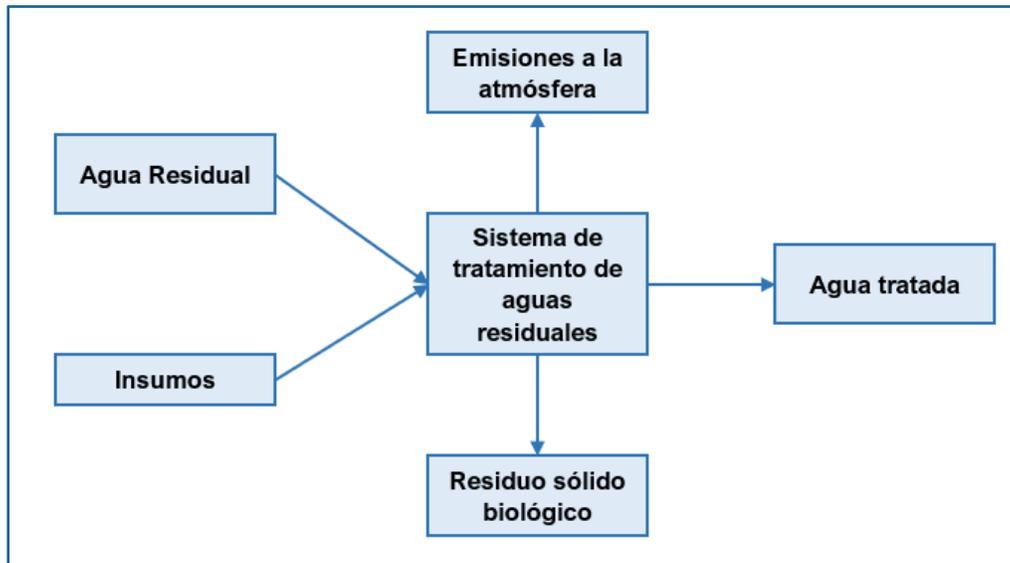


Figura 4. Esquema general del tratamiento de aguas residuales. Adaptada de (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013)

Los requerimientos de insumos, como energía eléctrica y reactivos químicos, se darán en función de las tecnologías seleccionadas para integrar el sistema de tratamiento, por lo tanto, el costo de operación dependerá también de ello.

En un sistema de tratamiento de aguas residuales, la ley de la conservación de la materia hace que al retirar de alguna forma el material contaminante del agua residual, éste solo se transforme o transfiera. Por esta simple razón, siempre se producirán residuos, tales como los lodos, en los sistemas de tratamiento de aguas residuales, acompañados por la generación de emisiones gaseosas. Las cantidades y calidad de estos residuos dependerán de las características del agua residual a tratar y evidentemente de la configuración del sistema de tratamiento.

Los métodos usados para el tratamiento de aguas residuales se denominan operaciones unitarias (remoción de contaminantes por fuerzas físicas) y procesos unitarios (consisten en reacciones biológicas y/o químicas), por lo que un sistema de tratamiento está compuesto por una combinación de operaciones y procesos unitarios diseñados para reducir ciertos constituyentes del agua residual a un nivel aceptable.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Aunque prácticamente todos los sistemas de tratamiento de aguas residuales son únicos en algunos aspectos, a través de los años ha evolucionado un agrupamiento general de operaciones y procesos unitarios de acuerdo con los contaminantes que constituyen “el blanco” de tratamiento. Los sistemas de tratamiento se dividen frecuentemente en subsistemas primario, secundario y terciario (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013; Valdez & Vázquez, 2003).

En la tabla 4 se muestran las operaciones y procesos comúnmente usados para eliminar contaminantes presentes en el agua residual.

Tabla 4. Operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes presentes en el agua residual. Tomada de (Valdez & Vázquez, 2003)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario, o sistema de tratamiento	
Sólidos en suspensión	Sedimentación Desbaste y aireación Variaciones de filtración Flotación Adición de polímeros o reactivos químicos Coagulación sedimentación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno	
Materia orgánica biodegradable	Variaciones de lodos activados Película fija: filtros percoladores Película fija: discos biológicos Variaciones de lagunaje Filtración intermitente de arena Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno Sistemas fisicoquímicos	
Patógenos	Cloración Hipocloración Ozonación Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno	
Nutrientes	Nitrógeno	Variaciones de sistemas de cultivo suspendido con nitrificación y desnitrificación Variaciones de sistemas de película fija con nitrificación y desnitrificación Arrastre de amoníaco (stripping)

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones y procesos utilizados para eliminar contaminantes presentes en el agua residual. Tomada de (Valdez & Vázquez, 2003). (Continuación de la Tabla 4)

Contaminante	Operación unitaria, proceso unitario, o sistema de tratamiento	
Nutrientes	Nitrógeno	Intercambio de iones Cloración en el punto crítico Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno
	Fósforo	Adición de sales metálicas Coagulación y sedimentación con cal Eliminación biológica y química del fósforo Sistemas de tratamiento por evacuación en el terreno
Materia orgánica refractaria	Adsorción en carbón Ozonación terciaria Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno	
Metales pesados	Precipitación química Intercambio de iones Sistemas de tratamiento por evacuación al terreno	
Sólidos inorgánicos disueltos	Intercambio de iones Osmosis inversa Electrodiálisis	

3.2.3 Niveles de tratamiento

El sistema de tratamiento de aguas residuales se conforma de niveles de tratamiento o subsistemas de tratamiento, los cuales en conjunto contribuyen al objetivo remover el material contaminante del agua residual.

Los niveles que conforman un sistema de tratamiento son los siguientes:

- A. Tratamiento preliminar o Pretratamiento
- B. Tratamiento primario
- C. Tratamiento secundario
- D. Tratamiento terciario

Adicionalmente, se añade al sistema el Tratamiento y disposición de lodo.

En seguida se describen cada uno de estos niveles o subsistemas de tratamiento.

A. Tratamiento preliminar o Pretratamiento

El propósito del pretratamiento es remover o reducir constituyentes del agua residual para evitar problemas operacionales, evitar atascos, abrasión, o incrementar el mantenimiento de los equipos electromecánicos y daños a tuberías, por tal motivo es práctica común y recomendada que se encuentren previos a los equipos de bombeo.

Los constituyentes para remover en esta etapa consisten en sólidos gruesos, materiales inertes abrasivos como arenas, sólidos flotantes o grasas (CONAGUA, 2019, p. 19).

En la figura 5 se muestra un sistema de rejillas gruesas, remueven los contaminantes gruesos procedentes de la corriente.



Figura 5. Cribado por medio de rejillas. Tomada de (CONAGUA, 2019)

B. Tratamiento primario

En este nivel de tratamiento, el objetivo es eliminar por efecto de la gravedad, los sólidos suspendidos de las aguas residuales, ya sea de manera libre o asistida con químicos que aglomeran las partículas (floculantes), para que ganen peso y decanten con mayor velocidad. Estos sólidos son en su mayoría, materia orgánica, por lo cual, en esta etapa del tratamiento se presenta una reducción importante en la concentración de DBO del efluente (Lozano, 2012).

En la figura 5 se muestra un ejemplo de sedimentadores primarios circular, equipo utilizado en la operación unitaria de sedimentación.



Figura 6. Sedimentadores circulares de la PTAR El Crestón Mazatlán. Tomado de (Jumapam, 2021)

C. Tratamiento secundario

Como menciona (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013), el tratamiento secundario consiste en eliminar la materia orgánica biodegradable (principalmente soluble) y los remanentes de materia en suspensión que escaparon del tratamiento primario por medios preferentemente biológicos debido a su bajo costo y alta eficiencia de remoción.

Básicamente los contaminantes presentes en el agua residual son transformados por microorganismos en materia celular, energía para su metabolismo y otros compuestos orgánicos e inorgánicos. Estas células microbianas forman flóculos, los cuales son separados de la corriente de agua tratada, normalmente por sedimentación. De esta forma, una sustancia orgánica soluble se transforma en flóculos que son fácilmente retirados del agua.

Los procesos biológicos se dividen en dos grandes grupos:

- Anaerobios: caracterizado principalmente por la baja producción de lodos de desecho
- Aerobios: mayor generación de biomasa, debido a que una mayor cantidad de energía del sustrato es utilizada para la síntesis celular.

En la figura 7 se muestra un ejemplo representativo de un Tratamiento aerobio (Lodos Activados).



Figura 7. Tratamiento secundario mediante Lodos Activados. Tomada de (Junco, 2015)

D. Tratamiento terciario

Entendido como todo tratamiento hecho después del tratamiento secundario, el objetivo del tratamiento terciario es eliminar contaminantes orgánicos no biodegradables, organismos patógenos y nutrientes como el nitrógeno y el fósforo, es decir lograr un pulimiento en la reducción de materia orgánica. Eliminación de contaminantes específicos.

El tratamiento terciario es necesario cuando deben cumplirse condiciones de descarga estrictas o cuando el agua tratada está destinada a un uso en específico (Lozano, 2012; Noyola, Morgan, & Güereca, 2013).

En la figura 8 se muestra un equipo de dosificación de hipoclorito de sodio.



Figura 8. Equipo de dosificación de hipoclorito de sodio. Tomada de (Nuevo, 2018)

Tratamiento y disposición del lodo

La generación de lodo en cualquier tipo de tratamiento es inevitable, dichos residuos deben ser reducidos en volumen para facilitar su manejo (espesamiento), ser estabilizados para evitar fermentaciones y crecimiento de organismos patógenos (digestión) y deshidratarse para conseguir una buena textura que facilite su manejo y transporte hacia su uso y disposición final (deshidratación) (Lozano, 2012).

El tratamiento y disposición de lodos de plantas de tratamiento municipales es una parte muy importante dentro del tratamiento del agua residual, ya que llega a representar hasta un 50 por ciento de la infraestructura y costo utilizada para dar un tratamiento, uso o disposición final tanto al agua como a el lodo residual. El tratamiento de lodo tiene su propia tecnología, legislación y manejo (CONAGUA, 2019, p. 1).

En la figura 9 se representa la generación de los lodos residuales durante el tratamiento de aguas residuales.



Figura 9. Lodos residuales generados durante el tratamiento de aguas residuales. Tomada de (Danielvif, 2011)

3.2.4 Panorama general de la situación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en México

De acuerdo con la información presentada en el documento “Estadísticas de Agua en México”, edición 2018 (el cual forma parte del Sistema Nacional de Información sobre cantidad, calidad, usos y conservación del agua), las descargas de aguas

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

residuales se clasifican en municipales y no municipales. Las municipales son generadas en los núcleos de población y colectadas en los sistemas de alcantarillado urbanos y rurales, las no municipales son aquellas generadas por otros usos, como puede ser la industria autoabastecida y que se descargan directamente a cuerpos de agua nacionales sin ser colectadas por sistemas de alcantarillado (CONAGUA, 2018, p. 125).

Conforme al documento “Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, diciembre 2018”, al cierre de ese año, el registro de plantas en operación fue de 2,540 instalaciones con una capacidad instalada de 181,152.22 l/s y un caudal tratado de 137,698.61 l/s (CONAGUA, 2018).

A continuación, en la figura 10 se observa el número de plantas y tipo de proceso que utilizan para el tratamiento de aguas residuales en nuestro país.

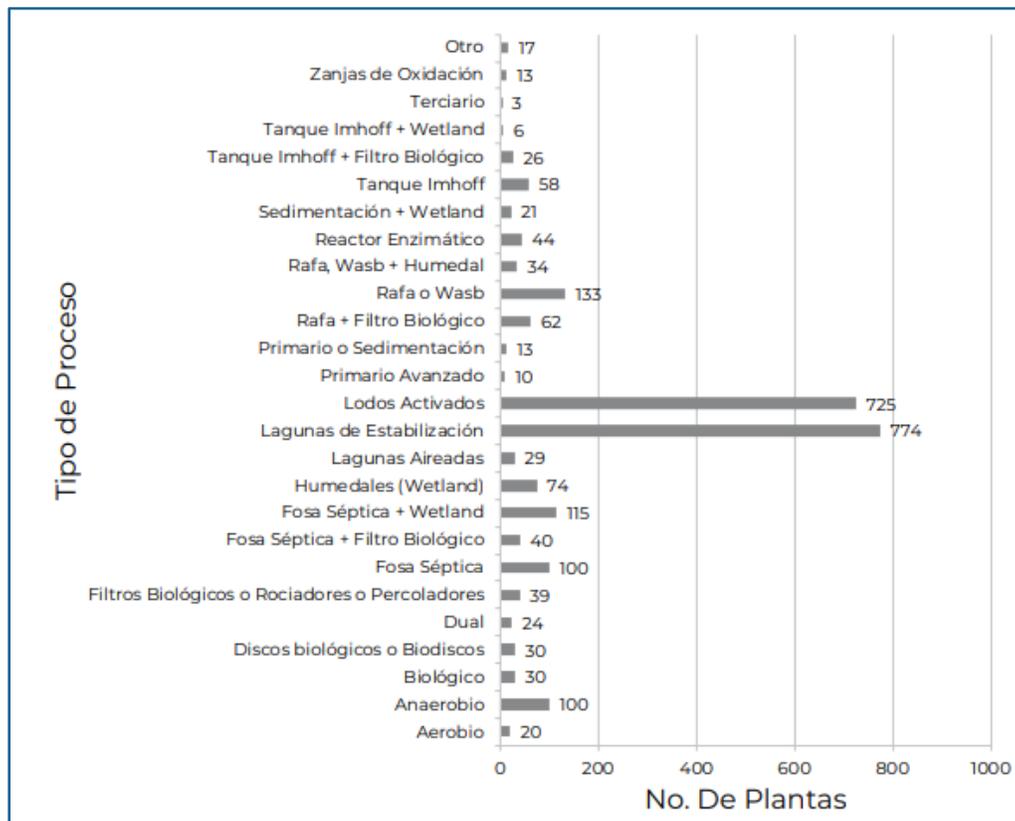


Figura 10. Número de plantas y tipo de proceso que utilizan para el tratamiento de aguas residuales municipales. 2018. Tomado de (CONAGUA, 2018)

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Sin embargo; conforme a lo reportado en el Resumen del Programa Nacional Hídrico 2020-2024, las plantas de tratamiento de aguas residuales son ineficientes, grandes consumidoras de electricidad y no cuentan con el mantenimiento adecuado para dar cumplimiento a las normativas.

Al año 2018, se reportaron 819 plantas abandonadas o sin operar, las que representaban el 24% de las PTAR a nivel nacional. Aunado a lo anterior, los sistemas de recolección de aguas residuales del país son insuficientes y están deteriorados. Y se da el caso de regiones donde los agricultores prefieren que sus cultivos se rieguen con agua residual cruda y no con las aguas tratadas, por lo que no se aprovecha la capacidad de la planta.

También se reporta que el 30% de las aguas residuales municipales que se colectan en los drenajes, no reciben ningún tipo de tratamiento, por lo que, además de los inconvenientes de contaminación del agua, existen deficiencias en el diseño, la aplicación y la vigilancia de instrumentos de gestión, como es el caso de la verificación de aprovechamientos y descargas (CONAGUA, 2020).

Para entender la problemática actual en la que se encuentran estas plantas, es posible consultar diferentes análisis que se han realizado de estas en nuestro país, conforme a su funcionamiento.

De acuerdo con el Análisis realizado al estado de las plantas de tratamiento de aguas residuales en la República Mexicana (Morgan, 2017); se expone que de las 234 PTAR seleccionadas aleatoriamente de las 2,287 plantas de tratamiento de aguas residuales municipales existentes en México (año 2016):

- 54 por ciento de las plantas menores a 100 l/s, funcionan, sin embargo, menos del 50 por ciento de estas lo hacen de manera adecuada
- Con respecto a las plantas mayores a 100 l/s, el 82 por ciento de ellas funcionan, aunque sólo el 41 por ciento funciona bien

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Por modo que, el 50 por ciento de las plantas evaluadas presentan una calificación global de pésima a mala, por lo que, los principales problemas encontrados en términos generales son:

- Infraestructura sobrada-sobre diseñada-subutilizada
- Diseño inadecuado de la PTAR
- Construcción defectuosa
- Inadecuada ubicación y paro por presiones de la comunidad por impactos medioambientales negativos
- Insuficientes recursos para la operación y el mantenimiento de la PTAR
- Plantas abandonadas debido a que el municipio no las quiere recibir para hacerse cargo de estas

En la figura 11 se muestra la fotografía de una PTAR abandonada, ubicada en la comunidad de San Pablo Atlazalpan, municipio de Chalco, Estado de México.



Figura 11. PTAR abandonada en la comunidad de San Pablo Atlazalpan. Tomada de (Periódico La Jornada, 2019)

Con base a la información citada, se observa que existe un rezago importante no solo en el ámbito social y gubernamental en lo referente a las PTAR, también en el propio funcionamiento de estas.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Las causas de que las PTAR's municipales sean ineficientes puede abordarse desde dos perspectivas, de acuerdo con el organismo encargado de la Construcción, Operación y Mantenimiento de una Planta de tratamiento:

1. Organismo Privado (tomando en cuenta a las aguas residuales industriales que tienen características compatibles con las municipales, por lo que se descargan directamente en los sistemas públicos de alcantarillado)
2. Organismo Gubernamental (Encargado propiamente de las PTAR's municipales)

Las plantas de tratamiento que se diseñan desde la perspectiva de un Organismo Privado tienen la función de realizar la descarga de las aguas residuales generadas de acuerdo con la legislación ambiental aplicable; sin embargo, dado que estas descargas NO tienen que ver propiamente con el proceso privado y su eficiencia, las plantas de tratamiento, que se consideran como no productivas, se construyen (en algunos casos) a un bajo costo; por lo tanto, existen pocos equipos y el tratamiento no es completo; generando una deficiencia del tratamiento del efluente, el cual será descargado en los sistemas de alcantarillado públicos, trayendo como consecuencia que las corrientes de agua que entran a las PTAR's municipales cuenten con características fisicoquímicas y biológicas no establecidas.

Por otro lado, las plantas de tratamiento que diseñan los Organismos gubernamentales tienen la función de satisfacer a una comunidad en lo referente a la descarga de aguas residuales, sin embargo, esta labor está determinada por los presupuestos gubernamentales con los que cuenta cada entidad, es decir presupuestos del municipio, del estado y de la federación.

Por lo que, la Construcción, Mantenimiento y Operación de las plantas de tratamiento dependerán del presupuesto destinado y por lo tanto la eficiencia del tratamiento que las descargas puedan recibir.

Uniendo estas dos perspectivas, junto con los problemas generales que se encuentran en las plantas de tratamiento, podemos intuir que se presenta un mal funcionamiento cuando intervienen factores tanto internos como externos.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para efectos del presente trabajo, se considerarán factores externos aquellos que son ajenos a la propia naturaleza de la planta de tratamiento, factores como los mencionados anteriormente, además de:

- Obsolescencia tecnológica
- Crecimiento poblacional
- Nuevas empresas o fábricas que generen contaminantes no considerados en el diseño original de la PTAR municipal y que descarguen las aguas residuales generadas dentro de su proceso en ésta
- Cultura
- Concientización de la población en lo referente al tratamiento de aguas residuales

Por otro lado, se considerarán factores internos como aquellos que son propios de la naturaleza de la planta de tratamiento, factores derivados del diseño y construcción de la planta y que conforman la concepción de ésta, por ejemplo:

- Poco capital de inversión disponible para determinar adecuadamente las bases de diseño
- Nulos análisis del terreno donde se construirá la planta de tratamiento
- Conocimientos escasos de las personas encargadas del diseño y funcionamiento de la planta de tratamiento
- Falta de monitoreo
- Falta de capacitación

Cabe resaltar que, esta situación no es exclusiva de las plantas de tratamiento de nuestro país; ya que en cualquier PTAR pueden presentarse problemas a lo largo o en parte de su Ciclo de vida.

Dichas problemáticas hacen necesario establecer un análisis centrado en mal funcionamiento de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales desde un enfoque de ingeniería, con la finalidad de comprender sus causas y facilitando la detección de las posibles fuentes de mal funcionamiento.

Debido a esto, se presentan dos fuentes de mal funcionamiento, las cuales pueden ser aplicadas a cualquier planta de tratamiento, adaptándolas a las características y condiciones propias.

4 Procedimiento

Como mencionan (Hernández, Fernández, & Baptista, 2014), a lo largo de la historia de la ciencia han surgido diversas corrientes de pensamiento; sin embargo, desde el siglo pasado tales corrientes se “polarizaron” en dos aproximaciones principales de la investigación: el enfoque cuantitativo y el enfoque cualitativo. Aunque las aproximaciones cuantitativa y cualitativa comparten estrategias generales, cada una tiene sus propias características.

El enfoque de investigación que se consideró para el desarrollo del presente trabajo fue el Enfoque Cualitativo, algunas de las características principales son:

- El enfoque cualitativo se selecciona cuando el propósito es examinar la forma en que los individuos perciben y experimentan los fenómenos que los rodean, profundizando en sus puntos de vista, interpretaciones y significados
- El enfoque cualitativo es recomendable cuando el tema del estudio ha sido poco explorado
- La investigación cualitativa siempre se aborda desde la perspectiva del ser humano (su experiencia)
- El planteamiento cualitativo está fundamentado en la revisión de la literatura, pero igualmente en la experiencia en el contexto y la intuición, además se aplica a un menor número de casos con que se pueda trabajar hasta comprender el fenómeno o responder el planteamiento
- Se orienta a aprender de experiencias y puntos de vista de los individuos, valorar procesos y generar teorías fundamentadas en las perspectivas de los participantes
- Las variables no están controladas ni manipuladas y los datos no se reducen únicamente a valores numéricos

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Por lo que, una vez definido el enfoque de investigación, en la figura 12, se presentan los pasos empleados para lograr los objetivos del presente trabajo.

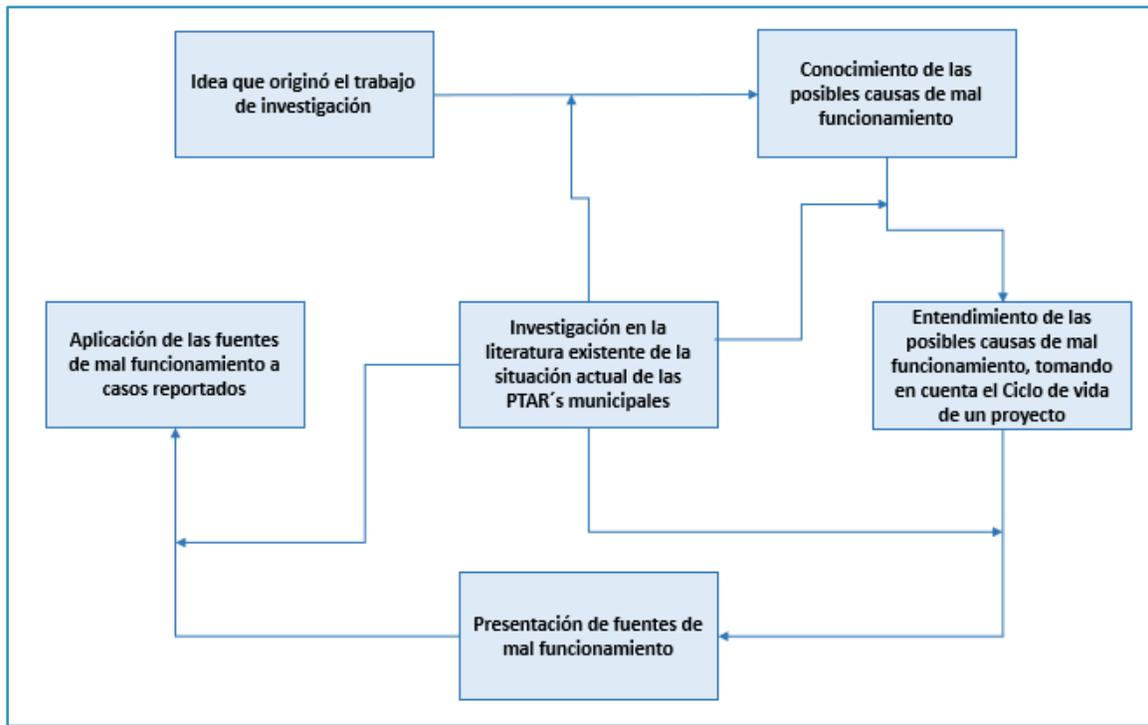


Figura 12. Pasos empleados para lograr el objetivo propuesto. Elaboración propia

A continuación, se describen cada uno de estos pasos con más detalle.

La idea del trabajo de investigación surgió de la observación derivada de la experiencia profesional del Asesor de tema del presente trabajo, de participar en la planeación de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales nacionales como internacionales, así como de las observaciones que coincidían de distintos profesionales en el ámbito con él.

Por lo que, la idea de investigación viene de la detección de un problema que requiere exponerse y comprenderse para conocerlo y evitarlo; es decir, el problema de mal funcionamiento que se presenta en las PTAR's municipales.

- Por lo que, una vez planteada la idea, se realizó la investigación en la literatura de la situación actual de las PTAR's municipales

- Posteriormente, se examinaron las posibles causas de mal funcionamiento (las cuales se mencionan en el apartado 3.2.4 *Panorama general de la situación de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en México*)
- Después, se analizaron esas causas de mal funcionamiento, tomando en cuenta el Ciclo de vida de un proyecto, para presentar las dos fuentes de mal funcionamiento, enfocándolas a la fase de Concepción y desarrollo
- Finalmente, se analizaron casos de estudios reportados en la literatura, de acuerdo con las fuentes de mal funcionamiento presentadas

Para el análisis de los casos de mal funcionamiento, se investigó en la literatura aquellos que se habían reportado del año 2012 a la fecha, en auditorías y evaluaciones realizadas a las PTAR's municipales del país, revistas especializadas de tratamiento de aguas residuales, trabajos de investigación, así como guías técnicas especializadas que han surgido, derivadas de la experiencia del personal para resolver los problemas que se presentan en las plantas de tratamiento; encontrando más de 80 casos de mal funcionamiento en distintas etapas tanto del Ciclo de vida como del tratamiento de las PTAR's.

Entendiendo los pasos que se siguieron, a continuación, se expone el concepto de funcionamiento y mal funcionamiento, para presentar las dos fuentes de mal funcionamiento, tomando en cuenta el Ciclo de vida de un proyecto.

4.1 Funcionamiento y mal funcionamiento

El funcionamiento se refiere al comportamiento normal que un elemento tiene, es decir, el comportamiento esperado para realizar una tarea específica, el término deriva de función, de la relación que se establece entre dos variables determinadas. Por lo que, funcionar implica que algo se relacione con un hecho o circunstancia de modo efectivo (Editorial Definición MX, 2014).

Por lo tanto, cuando el funcionamiento en cuestión no cumple con los objetivos propuestos se hablará de un **mal funcionamiento**.

4.1.1.1 Sobre diseño y bajo diseño

Desde un enfoque de ingeniería, una posible causa para que se presente un mal funcionamiento dentro de las PTAR's es el sobre diseño y/o bajo diseño.

Para fines de este trabajo, entiéndase como diseño industrial a la actividad creativa y técnica que consiste en idear un objeto para que éste sea producido en serie o por medios industriales. Dicho de otra manera, el diseño industrial es la actividad relacionada con el diseño de productos industriales (Universidad de Valencia, 2015).

Aplicando la definición de diseño a un proyecto, en la tabla 5 se presenta el concepto de **sobre diseño y bajo diseño**.

Tabla 5. Concepto de sobre diseño y bajo diseño. Elaboración propia

Concepto	Definición
sobre diseño	Se entenderá como sobre diseño a aquel que sobrepasa/que está por encima de la capacidad requerida del fin para el que fue diseñado
bajo diseño	Se entenderá como aquel que no alcanza/ no presenta la capacidad requerida del fin para el que fue diseñado

Una vez aclarado esto, se presentan las dos fuentes de mal funcionamiento, tomando en cuenta la descripción de sobre diseño y/o bajo diseño.

4.2 Fuentes de mal funcionamiento

Cabe resaltar que, las dos fuentes de mal funcionamiento pueden presentarse en cualquier proyecto, sin embargo, éstas se focalizarán en el caso de estudio: Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales de manera general.

Las dos fuentes de mal funcionamiento presentadas son las siguientes:

1. Primera fuente de mal funcionamiento: originada del sobre diseño o bajo diseño de las Bases de diseño propuestas en la fase de Ingeniería Básica.
2. Segunda fuente de mal funcionamiento: originada del sobre diseño o bajo diseño de los equipos, las áreas o todo el sistema; derivado del desarrollo de la Ingeniería básica (y/o de la Ingeniería de detalle) si es que los cálculos con base a las especificaciones de las Bases de diseño no fueron correctos.

Una vez presentadas las dos fuentes de mal funcionamiento, es conveniente detallar al Ciclo de vida de un proyecto.

4.3 Ciclo de vida de un proyecto

4.3.1 Definición y Partes del Ciclo de vida de un proyecto

Un proyecto se define como un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único. La naturaleza temporal de los proyectos implica que un proyecto tiene un principio y un final definidos. El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Asimismo, se puede poner fin a un proyecto si el cliente (cliente, patrocinador o líder) desea terminar el proyecto. Por otra parte, los proyectos pueden tener impactos sociales, económicos y ambientales susceptibles a perdurar mucho más que los propios proyectos (Project Management Institute, 2013).

Ciclo de vida de un proyecto

De acuerdo con la “Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos” (Project Management Institute, 2013); el ciclo de vida de un proyecto es la serie de fases por las que atraviesa un proyecto desde su inicio hasta su cierre. El ciclo de vida proporciona el marco de referencia básico para dirigir el proyecto, independientemente del trabajo específico involucrado.

Los proyectos varían en tamaño y complejidad. Todos los proyectos pueden configurarse dentro de la siguiente estructura genérica de ciclo de vida.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Inicio del proyecto
- Organización y preparación
- Ejecución del trabajo
- Cierre del proyecto

Conforme a la información anterior, y para fines del presente trabajo, se considerará a el Ciclo de vida del proyecto conformado por las siguientes etapas:

1. Concepción y desarrollo de la Ingeniería, Procura y Construcción
2. Operación y mantenimiento
3. Retiro o demolición o cierre de las instalaciones

En específico, para un proyecto como lo es una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, dichas etapas se conforman de las siguientes fases:

1. Concepción y desarrollo de la Ingeniería, Procura y Construcción
 - 1.1. Ingeniería básica
 - 1.2. Ingeniería de detalle
 - 1.3. Gestión de Adquisiciones/compras
 - 1.4. Construcción y Montaje
 - 1.5. Arranque
2. Operación y mantenimiento
3. Retiro o demolición o cierre de las instalaciones

A continuación, se describen cada una de estas partes.

1. Concepción y desarrollo de la Ingeniería, Procura y Construcción

1.1 Ingeniería básica

Ingeniería básica, también llamado Proyecto básico o Anteproyecto, que puede definirse como el conjunto de documentos que definen inequívocamente el proyecto y su coste más favorable en un entorno dado.

Por tanto, esta fase del proyecto tiene por objeto definir las líneas básicas del proyecto, de manera que suministre al promotor la información necesaria para poder tomar la decisión de llevar adelante el proyecto o paralizarlo. Además, la extensión y definición de la Ingeniería básica ha de ser tal que el equipo de ingeniería pueda tomar de él todos los datos precisos para realizar el cálculo detallado de los componentes y partes y finalizar el proyecto con garantías de éxito.

La Ingeniería básica se dice que es correcta cuando el proyecto definitivo viene a confirmar las propuestas básicas de aquel.

Los objetivos de la fase de Ingeniería básica son los siguientes:

- Seleccionar la solución más conveniente
- Desarrollarla y definirla
- Mejorar los diseños previos
- Conocer la rentabilidad del proyecto

Se dice que la fase de Ingeniería Básica es la más creativa y, por tanto, la más difícil de llevar a cabo. Por ello, se responsabilizan de ella los mejores expertos de la organización y se ponen a su disposición todos los recursos necesarios.

La fase de Ingeniería Básica, aparte de realizar procesos de análisis y síntesis, se caracteriza por que engloban las grandes decisiones de toda actividad proyectual. En ella se utilizan todas las posibles fuentes de información y se aplican los métodos idóneos para una toma de decisiones con la máxima certidumbre y el mínimo riesgo (Universidad Politécnica de Cartagena, 2013, pp. 49,50)

Los documentos que conforman la Ingeniería Básica son los siguientes:

- Bases de diseño
- Planos
 - Diagramas de bloques
 - Diagramas de Flujo de Proceso
 - Arreglo general

- Lista de equipo
- Memorias de cálculo
 - Balance de materia y energía
 - Pre-dimensionamiento de equipos
- Hojas de datos preliminares

1.2 Ingeniería de detalle

La Ingeniería de Detalle o Diseño de detalle es la fase en la que quedan definidos todos y cada uno de los subsistemas, componentes o partes que integran el proyecto, de tal manera que los documentos que lo desarrollan han de ser suficientes para llevarlo a la práctica, ya sea bajo la dirección de los mismos proyectistas o por otro equipo de ingeniería distinto.

La fase de Ingeniería de Detalle se diferencia de las demás fases creativas porque, así como en las otras fases los objetivos son los de analizar el problema y definir las soluciones más adecuadas, en esta fase, esas soluciones deben concretarse en respuestas únicas que han de describirse en su totalidad y con el detalle necesario para su posterior transformación en una realidad.

En general, se puede considerar que un proyecto está bien calculado y diseñado en detalle cuando las desviaciones entre el presupuesto de inversión estimado y la inversión real que resulta tras la construcción del objetivo del proyecto no son superiores a un 5%.

Los objetivos de esta fase son los siguientes:

- Comprobar y confirmar. Si procede, modificar, las hipótesis y soluciones del diseño básico.
- Suministrar toda la información técnica, económica y legal al promotor.
- Suministrar los datos técnicos, detalles constructivos y condiciones en que debe fabricarse (o construirse) el objeto del proyecto.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Servir de documento de gestión en aquellos casos en los que el anteproyecto o diseño básico es insuficiente o no existe.

Esta fase de proyecto es una fase fundamental de cálculos técnicos y de diseño. Es, en el estudio de los componentes y partes, donde el proyectista se percata de la calidad del anteproyecto y la gran importancia que tiene el resultado final (Universidad Politecnica de Cartagena, 2013, pp. 77,78)

Dentro de la conformación de la ingeniería de detalle, se encuentran los siguientes documentos:

- Planos
 - Isométricos
 - Instrumentación
- Hojas de datos
- Especificaciones
- Listas
- Memorias de calculo

1.3 Gestión de Adquisiciones/Compras

La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos necesarios para comprar o adquirir productos, servicios o resultados que es preciso obtener fuera del equipo del proyecto. La organización puede ser la compradora o vendedora de los productos, servicios o resultados de un proyecto. La Gestión de las Adquisiciones del Proyecto incluye los procesos de gestión del contrato y de control de cambios requeridos para desarrollar y administrar contratos u órdenes de compra emitidos por miembros autorizados del equipo del proyecto (Project Management Institute, 2013, p. 355)

Dentro de la fase de Adquisiciones/Compras, se encuentran los siguientes documentos:

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Cotizaciones
- Información legal, comercial y técnica
- Tablas comparativas
- Selección y compra de adquisiciones
- Orden de compra
- Inspecciones del proveedor y de campo

1.4 Construcción y Montaje

- Instalación
- Prueba de equipos

1.5 Arranque

- Arranque de equipos
- Arranque de planta
- Estabilización

2. Operación y Mantenimiento

La necesidad de la industria competitiva actual de asegurar el correcto funcionamiento de los equipos de producción, así como de obtener de ellos la máxima disponibilidad, ha originado una significativa evolución del mantenimiento industrial en las últimas décadas, pasando de métodos puramente estáticos (a la espera de la avería) a métodos dinámicos (seguimiento funcional y control multiparamétrico) con la finalidad de predecir las averías en una etapa incipiente e incluso llegar a determinar la causa del problema y, por lo tanto, procurar erradicarla.

En términos muy generales, puede afirmarse que las funciones básicas del mantenimiento se pueden resumir en el cumplimiento de todos los trabajos necesarios para establecer y mantener el equipo de producción de modo que cumpla los requisitos normales del proceso (Gómez de León, 1998, pp. 21,24)

3. Retiro o demolición o cierre de las instalaciones

El final se alcanza cuando se logran los objetivos del proyecto, cuando se termina el proyecto porque sus objetivos no se cumplirán o no pueden ser cumplidos, o cuando ya no existe la necesidad que dio origen al proyecto. Asimismo, se puede poner fin a un proyecto si el cliente (cliente, patrocinador o líder) desea terminar el proyecto.

4.3.2 Delimitación de la parte del Ciclo de vida de un proyecto a analizar y aplicable a la primera fuente de mal funcionamiento

Sin bien, dentro de todas las etapas que conforman el Ciclo de vida de un proyecto se puede presentar el mal funcionamiento; el presente trabajo está enfocado en la Etapa de **Concepción y desarrollo** en la fase de **Ingeniería Básica**.

Por lo que la primera fuente de mal funcionamiento se origina en las **Bases de diseño**.

En la figura 13 se muestra la Etapa y Fase delimitadas tomadas en cuenta para presentar la primera fuente de mal funcionamiento.

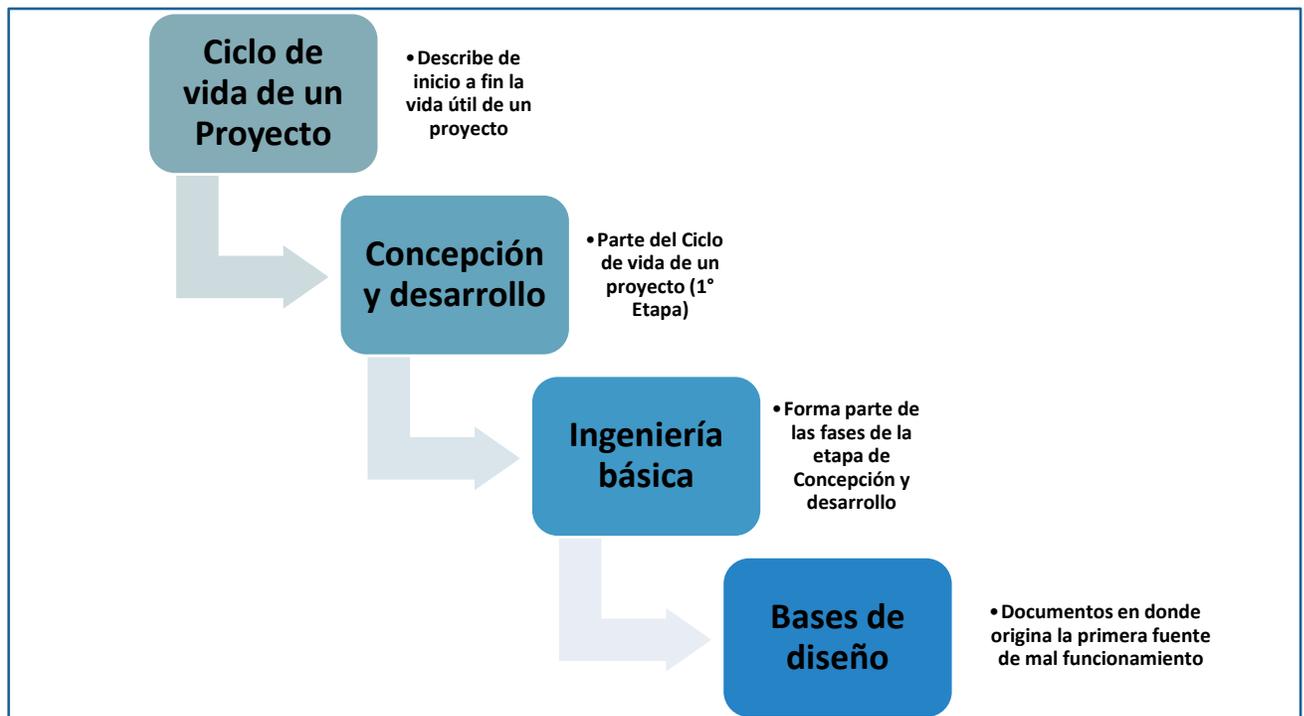


Figura 13. Delimitación de la etapa y fase delimitadas dentro del Ciclo de vida de un proyecto. Elaboración propia

Por lo tanto, es conveniente definir las Bases de diseño que forman parte de la Ingeniería básica.

4.3.2.1 Bases de diseño

Como mencionan (Anaya, Barragán, & Vergara, 2015); la ingeniería de proyecto podrá iniciarse cuando se disponga de información suficiente de las bases de diseño.

Dentro de este documento, se define:

- Localización de la planta
- Tipo de proceso a utilizar
- Capacidad, rendimiento, y flexibilidad
- Las especificaciones de las alimentaciones y de los productos
- Condiciones de operación en los límites de batería de la planta
- Servicios auxiliares como vapor, electricidad, combustibles, gas inerte, etc.
- Características de la alimentación de la energía eléctrica
- Condiciones climatológicas
- Criterios de diseño civil
- Equipo
- Necesidades de edificios y estructuras
- Sistemas de seguridad
- Requisitos de instrumentación
- Sistemas de desfogue
- Sistemas de eliminación de desechos

El primer paso es llenar el cuestionario de las bases de diseño, que normalmente se lleva en la denominada junta de arranque de un proyecto. El cuestionario de las bases de diseño es una guía que establece en forma ordenada y objetiva la información requerida para iniciar el diseño de una planta de proceso, y después servirá de base para elaborar el documento final, y que, sin la elaboración de este,

no se podrá iniciar la elaboración de los documentos y diagramas sucesores, ya que representa el alcance del proyecto.

A continuación, se explican los principales puntos de las bases de diseño:

1. Generalidades

Se deben exponer los motivos por los cuales se decidió escoger el tipo de planta y listar los datos y la metodología de ingeniería que serán utilizados como base del diseño del proceso. Contiene valores de diseño significativos tales como: función de la planta (breve descripción del propósito para el que será diseñada y construida la planta) y tipo de proceso (breve descripción del modelo y del funcionamiento de la planta).

2. Capacidad, rendimiento y flexibilidad

Se incluyen los requerimientos de instalaciones y servicios para la producción inmediata y futura, los cuales se componen de:

- a. Factor de servicio: parámetro que determina en días o porcentaje, el tiempo de operación anual de la planta, que debe considerarse para el diseño.
- b. Capacidad de rendimiento: es el factor que especifica la capacidad y rendimiento de operación de la planta, normalmente se definen tres escenarios básicos:
 - i. Diseño: es el necesario para satisfacer el mercado
 - ii. Normal: es el considerado para operar a condiciones normales
 - iii. Mínimo: es el considerado para prever posibles perturbaciones en la producción
- c. Flexibilidad: factor que describe las condiciones de sobre diseño que se requieren para que la producción se adapte a variaciones de calidad, cantidad o diversificación del mercado. Estas variaciones pueden deberse a posibles fallas o previsiones para futuras ampliaciones.

3. Especificaciones al límite de batería

Se define como el perímetro dentro del cual se encuentran los principales equipos directamente relacionados con el proceso, sin incluir los equipos que suministran los servicios necesarios para llevar a cabo la producción.

Se deben especificar todas las alimentaciones, productos o subproductos del proceso, indicando su composición, condiciones de presión y temperatura, estado físico, forma de recibo y entrega, procedencia y destino, entre otras características; estas especificaciones deben cumplir con los requerimientos de los productos, utilizando como referencia las pruebas analíticas estándar, códigos, normas o prácticas recomendadas.

4. Eliminación de desechos

Descripción de los sistemas de evacuación de las sustancias no aprovechables en el proceso (estos sistemas deberán obedecer a las respectivas normas y requerimientos respecto a la pureza del agua, aire, ruido, conservación del hábitat de especies animales y vegetales, entre otros).

5. Condiciones de almacenamiento

Descripción general de las facilidades de almacenamiento que se requieren para las alimentaciones y productos, así como los criterios para la selección de capacidades de almacenamiento.

6. Agentes químicos

Descripción general de las sustancias especiales que intervienen en el proceso para el correcto funcionamiento de la planta.

7. Servicios auxiliares

Es un listado de los materiales y/o fuentes de energía que se interrelacionan con el proceso. No forma parte de la formulación de los productos. Estos pueden ser: vapor, agua, combustible, aire, gases inertes, refrigeración, electricidad, drenajes, sistemas de colección de gas, quemadores e incineradores, tratamiento de efluentes y sistemas de protección contra incendio.

Se debe mencionar quién proporcionará el servicio necesario o si se generará dentro de los límites de batería, también se deberá indicar las condiciones normales, máximas y mínimas en límite de batería, de presión, temperatura, calidad y disponibilidad para dichos niveles.

8. Sistema de seguridad

Son los sistemas de protección contra eventos que puedan poner en riesgo la seguridad del personal y/o las instalaciones como son:

- Explosiones
- Alta temperatura y presión de operación
- Áreas de clasificación eléctrica
- Reacciones que liberan gran cantidad de energía
- Todo lo relacionado con la toxicidad, corrosión, reactividad, explosividad, inflamabilidad y características biológicas de los materiales (CRETIB)

Para prever dichas situaciones, se requiere especificar lo siguiente:

- Equipo de protección personal (duchas, tomas de aire, etc.)
- Aplicar la normatividad de la NFPA
- Condiciones contra incendio
- Red contra incendio, equipo móvil y portátil
- Rociadores
- Cámara de espuma

9. Condiciones climatológicas

Son las condiciones predominantes en el lugar seleccionado para la construcción de la planta, deben considerarse para el diseño y distribución de los equipos de proceso. Entre las condiciones que deben tomarse en cuenta se encuentran:

- Temperaturas de diseño máximo, promedio y mínimo y temperaturas extremas
- Temperatura de diseño de bulbo húmedo y seco de verano o invierno

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Velocidad y dirección de vientos
- Altura sobre el nivel medio de mar
- Presión barométrica promedio
- Datos de precipitación
- Nevadas
- Zona sísmica
- Humedad relativa máxima, mínima y promedio
- Calidad de la atmósfera (corrosiva, no corrosiva concentración de contaminantes)

10. Localización de la planta

Son las coordenadas geográficas de los límites de batería, que se indicarán en el plano de localización de la planta.

11. Bases de diseño de equipo eléctrico

Resistividad eléctrica del terreno, la potencia de motores, las corrientes de alumbrado y la distribución de corrientes dentro del límite de batería (distribución aérea o subterránea).

12. Base de diseño para tuberías

Se refiere al soporte de tuberías y trincheras y al drenaje. Se deberá especificar el tipo de soporte, requerimientos de altura especiales dentro del límite de batería, permisividad de trincheras, marcos de concreto, cubrimiento de acero, altura, pendiente, etc.

13. Drenaje

Consiste en indicar los tipos de drenajes con sus respectiva pendiente.

14. Bases de diseño civil

Requerimientos por viento y sismo, es decir, el manual de diseño de obra. Se requiere especificar el código que se aplica en caso de viento, sismo, etc., el nivel

de piso terminado, el tipo de suelo, nivel freático, tipos de edificios, construcciones, cobertizos necesarios, etc.

15. Base de diseño de instrumentos

Se especifica dónde debe estar el tablero de control, qué tipo de instrumentación se va a utilizar y qué tipo de calibración tendrá la instrumentación.

16. Base de diseño para equipo

Se aplican las reglas heurísticas para los diferentes equipos del proceso. Se requiere especificar las reglas que se aplicarán para el diseño de los equipos.

17. Actividades precedentes

- Elaboración de alcances de instalaciones y servicios
- Revisión de ingeniería básica e información del licenciador o tecnólogo
- Junta de arranque con el cliente

18. Actividades sucesoras

- Descripción del proceso
- Elaboración de diagramas de flujo de proceso y de servicios
- Elaboración de diagramas de tubería e instrumentación

4.3.2.2 Sobre diseño y bajo diseño aplicable a la primera fuente de mal funcionamiento

El sobre diseño y/o el bajo diseño se puede presentar a lo largo de todo el Ciclo de vida de un proyecto (desde la Concepción y Desarrollo, en la Operación y Mantenimiento y hasta el Retiro); sin embargo, como se mencionó anteriormente, la primera fuente de mal funcionamiento estará enfocada en las Bases de diseño, en la figura 14 se representa la primera fuente de mal funcionamiento.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

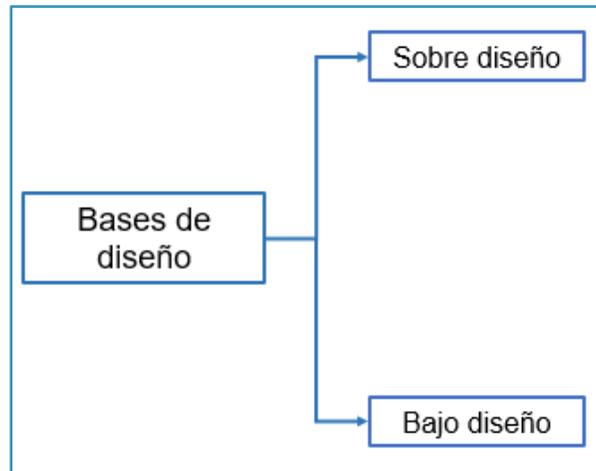


Figura 14. Derivaciones de diseño que se pueden presentar dentro de las Bases de diseño.
Elaboración propia

A continuación, se presentan algunos ejemplos generales de esta fuente de mal funcionamiento enfocado a las Bases de diseño, aplicables al caso de estudio.

- Se construye y opera una PTAR, sin embargo, no se realizaron de manera detallada los análisis del influente que será tratado, es decir no se caracterizó de manera correcta la corriente de entrada de la planta, por lo tanto, no se tienen identificados los contaminantes que entran, esto ocasiona una variación de ellos y un tratamiento de aguas deficiente.
- No se realizaron los cálculos de la cantidad de aguas residuales que entrará en la planta con base a las distintas épocas del año y así se construyó, ocasionando que se presente una variación de la corriente de entrada a lo largo de los años, pudiendo presentarse un desborde de aguas residuales a la entrada de la planta o un tratamiento poco eficiente debido a la cantidad de agua que se tiene que tratar (por lo tanto, existe un bajo diseño).

En la figura 15 se muestra un ejemplo de un Reactor biológico con presencia de grasas y aceites en la superficie.



Figura 15. Ejemplo de aguas residuales en Reactor biológico con presencia de grasas y aceites en la superficie. Tomada de (Teqma, 2018)

4.3.3 Delimitación de la parte del Ciclo de vida de un proyecto a analizar y aplicable a la segunda fuente de mal funcionamiento

La segunda fuente de mal funcionamiento estará enfocada igualmente en la Etapa de Concepción y Desarrollo y se presentará por el sobre diseño o bajo diseño de equipos, áreas o de toda la planta, derivado del desarrollo de la **Ingeniería Básica** (y/o Ingeniería de detalle); si es que los cálculos con base a las especificaciones de las Bases de diseño no fueron correctos.

4.3.3.1 *Actividades propias de la Ingeniería básica*

Como se mencionó anteriormente, la extensión y definición de la Ingeniería Básica ha de ser tal que el equipo de ingeniería pueda tomar de él todos los datos precisos para realizar el cálculo detallado de los componentes y sus partes y finalizar el proyecto con garantías de éxito, la fase de Ingeniería Básica, aparte de realizar procesos de análisis y síntesis, se caracteriza por que engloban las grandes decisiones de toda actividad proyectual.

Por lo tanto, al avanzar en la etapa de Concepción y Desarrollo, y no definir ni suministrar la información necesaria para realizar todos los cálculos detallados de los componentes que conformarán el sistema de una PTAR, se presentará la segunda fuente de mal funcionamiento.

Es importante aclarar que, si bien una PTAR puede pertenecer a una instalación industrial formando parte del área de servicios generales y auxiliares, también puede constituirse de forma independiente como un sistema general, como lo son las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, es por esta razón que cuando se menciona al sistema dentro de la segunda fuente de mal funcionamiento, se considera la segunda opción.

Desglose de las áreas y equipos que conforman el caso de estudio

Las delimitaciones tomadas en cuenta para considerar las distintas áreas, los procesos y operaciones unitarias, así como los equipos que conforman al caso de estudio son las siguientes:

Los niveles o subsistemas de tratamiento son: Tratamiento Preliminar o Pretratamiento, Tratamiento primario, Tratamiento secundario, Tratamiento terciario; por lo que éstos serán considerados como las **áreas**.

Además, se cuenta con diferentes **procesos u operaciones unitarias**, en estas, serán seleccionados distintos **equipos**, en función de las características del agua residual a tratar y de la calidad deseada de la misma.

Tomando en cuenta lo anterior, en las tablas 6-10 se muestran los equipos que generalmente son parte de cada proceso u operación unitaria, así como las distintas áreas a las que pertenecen y que forman en conjunto una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 6. Desglose de las operaciones unitarias que conforma el Pretratamiento. Elaboración propia

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Pretratamiento	Cribado/Desbaste	<p>Eliminación de componentes de gran tamaño. Proteger a las bombas y otros equipos electromecánicos. Prevenir el atascamiento de válvulas.</p>	<p>Elementos separadores: Cribas o Rejillas Barras Alambres Varillas Paralelas Telas metálicas Placas perforadoras</p>	<p>Separación de materiales sólidos: cáscaras de fruta, harapos, palos, trozos de papel, madera. Si no se eliminan dichos materiales, pueden causar daños a los mecanismos o bloquear las tuberías. Diseñados de un material anticorrosivo.</p>
	Desarenado/ Removedor de arena	<p>Separar la arena del material orgánico susceptible de putrefacción. Evitar depósitos de arena en los tanques de aireación (si aplica). Evitar la obstrucción de tuberías, y desgaste en sedimentadores, bombas, etc.</p>	Desarenadores/Cámara de arena	<p>El equipo mecánico y electromecánico se desgasta con mayor rapidez debido a la arena. Eliminación de arena es esencial para los equipos con superficies metálicas estrechamente mecanizadas.</p>

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Desglose de las operaciones unitarias que conforma el Pretratamiento. Elaboración propia. (Continuación de la Tabla 6)

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Pretratamiento	Trituración mecánica/Dilaceración	Trituración de sólidos gruesos hasta conseguir un tamaño más o menos uniforme.	Desmenuzador	Despedaza y troncha sólidos y harapos que pasan a través de las rejillas.
	Homogenización del caudal	Amortiguar las variaciones de descargas de aguas residuales, con el fin de tratar un gasto uniforme. Homogeneización del caudal y de las cargas de DBO y de sólidos en suspensión.	Tanques de igualación	Amortiguar por laminación las variaciones de caudal, también utilizados para amortiguar variaciones de pH y concentración de constituyentes tóxicos.

Tabla 7. Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento primario. Elaboración propia

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Tratamiento primario	Sedimentación/Clarificación	Diseñados para concentrar y remover sólidos suspendidos orgánicos del agua residual.	Tanques de sedimentación/ Clarificadores: Tanques rectangulares alargados Tanques circulares	Eliminación de: Sólidos sedimentables Aceites, grasas y otros materiales flotantes Parte de la carga orgánica

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento primario. Elaboración propia. (Continuación de la Tabla 7)

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Tratamiento primario	Sedimentación/ Clarificación	Eliminación de partículas sólidas o sólidos en suspensión del líquido, para su clarificación y/o espesamiento. Eliminar sólidos fácilmente sedimentables y materiales flotantes.	Tanques de sedimentación/ Clarificadores: Tanques rectangulares alargados Tanques circulares	vertida a las aguas receptoras. La eficiencia de la eliminación de DBO y TSS depende de las características del sedimentador.
	Flotación	Eliminación de grasas o aceites. Eliminación de sólidos en suspensión finamente divididos y de partículas con densidades cercanas al agua.	Tanque de flotación	Grasas pueden causar daños en los procesos de limpieza por su viscosidad, obstruyendo rejillas, ductos, o impidiendo correcta aireación. Uso del aire como agente responsable.
	Floculación**	Agregación de partículas aumentando su tamaño, para mejorar su eliminación por sedimentación	Tanques independientes Agitadores	Depende de la posibilidad de contacto entre las diferentes partículas.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento primario. Elaboración propia. (Continuación de la Tabla 7)

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Tratamiento primario	Precipitación química**	Eliminación de fósforo y mejora de la eliminación de sólidos en suspensión en las instalaciones de sedimentación primaria.	Adición de productos químicos y facilitar su eliminación, se puede llevar a cabo en equipos de tratamiento primario	Adición de productos químicos con la finalidad de alterar el estado físico de sólidos disueltos y en suspensión.

Tabla 8. Procesos unitarios que conforma el Tratamiento secundario. Elaboración propia

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso unitario	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Tratamiento secundario	Procesos biológicos aerobios	-Lodos activados -Filtro percolador -Discos biológicos rotatorios -Filtro sumergido	Depende del proceso utilizado	Tienen una mayor generación de Biomasa como lodo no estabilizado.
	Procesos biológicos anaerobios	-Fosa séptica -Tanque Imhoff -Contacto anaeróbico -Filtro anaerobio -Reactor de lecho de lodos -Reactor de lecho expandido fluidificado	Depende del proceso utilizado	Baja tasa de síntesis bacteriana. Baja producción de lodos de desecho.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 9. Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento terciario. Elaboración propia

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Tratamiento terciario	Filtración	Eliminación de sólidos en suspensión residuales presentes después del tratamiento químico o biológico.	Filtros (en función del tipo de filtración)	Tipo de filtros: Convencional. Puente móvil Lecho profundo Lecho pulsatorio
	Adsorción***	Eliminación de materia orgánica no eliminada con métodos convencionales de tratamiento químico y biológico.	Columna de adsorción	El tratamiento del agua residual con carbón activado granular suele ser considerado como un proceso pulidor de aguas residuales. El carbón activado se emplea para eliminar parte de la materia orgánica disuelta.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Operaciones/procesos unitarios que conforman el Tratamiento terciario. Elaboración propia (Continuación de la Tabla 9)

Niveles o subsistemas de tratamiento (Área)	Proceso u operación unitaria	Aplicación	Equipo que conforma el proceso u operación unitaria	Observaciones
Tratamiento terciario	Desinfección	Destrucción selectiva de organismos causantes de enfermedades. Los métodos más empleados para llevar a cabo la desinfección son: -Agentes químicos -Agentes físicos -Medios mecánicos -Radiación	Depende del grado de desinfección	Las eliminaciones conseguidas se obtienen como subproducto de la función primaria del proceso.

NOTAS: *Incluido dentro del Pretratamiento, **Incluido dentro del Tratamiento Primario avanzado, ***Incluido dentro del Tratamiento Terciario avanzado

Además de utilizar los procesos u operaciones unitarias, así como estaciones y equipos de bombeo, estructuras, conducciones hidráulicas y eléctricas, también se cuenta con instrumentos (tabla 10), que si bien, no son procesos u operaciones, se utilizan dentro de una PTAR para controlar los flujos de entrada y salida de las corrientes, como son:

Tabla 10. Instrumentos comúnmente utilizados dentro de una PTAR. Elaboración propia

Instrumentos	Descripción	Observaciones
Emisor de llegada	Conducen el agua residual a la planta de tratamiento, y de ésta al sitio de vertido final, los emisores se diseñan para operar a gravedad o a presión, dependiendo de las condiciones de cada proyecto.	Medidores Venturi Medidores de inducción magnética.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Instrumentos comúnmente utilizados dentro de una PTAR. Elaboración propia. (Continuación de la Tabla 10)

Instrumentos	Descripción	Observaciones
Medidor de gasto/Medición de caudal	Aunque no remueven material alguno, los dispositivos de medición de gastos son esenciales para la operación.	Vertidor, medidor o canal de aforo. Sensor o detector Dispositivo convertidor Medidores de gastos: canal Parshall, vertederos rectangulares.

Como menciona (Metcalf y Eddy, Inc., 1995), los procesos u operaciones unitarias que constituirán el tratamiento de las aguas residuales están totalmente especificados dentro de los **diagramas de flujo de procesos**.

Tanto el conocimiento teórico como la experiencia práctica son necesarios en la elección y análisis de los diagramas de flujo de procesos y tratamientos. Los diagramas de flujo de procesos son representaciones gráficas de las combinaciones de las operaciones y los procesos unitarios que se emplean para alcanzar los objetivos específicos del tratamiento.

La experiencia práctica es fundamental para el proyecto y distribución física de las instalaciones y para la elaboración de los planos y prescripciones técnicas.

La descripción de los principales elementos que hay que tener en cuenta para la elección de los diagramas de flujo de procesos son los siguientes:

1. Necesidades del propietario de la instalación
2. Experiencia previa
3. Requisitos de las agencias e instituciones de control
4. Análisis y elección de los procesos
5. Compatibilidad con las instalaciones existentes
6. Costes
7. Consideraciones medioambientales
8. Otras consideraciones importantes, como los equipos, el personal y las consideraciones energéticas

4.3.3.2 *Sobre diseño y bajo diseño aplicable a la segunda fuente de mal funcionamiento*

La segunda fuente de mal funcionamiento se presenta por el sobre diseño o bajo diseño de los equipos, las áreas y (en dado caso), en todo el sistema de una planta de tratamiento, derivado del desarrollo de la Ingeniería básica (y/o Ingeniería de detalle), si es que los cálculos con base a las especificaciones de las Bases de diseño no fueron correctos.

En la figura 15 se representa la segunda fuente de mal funcionamiento.

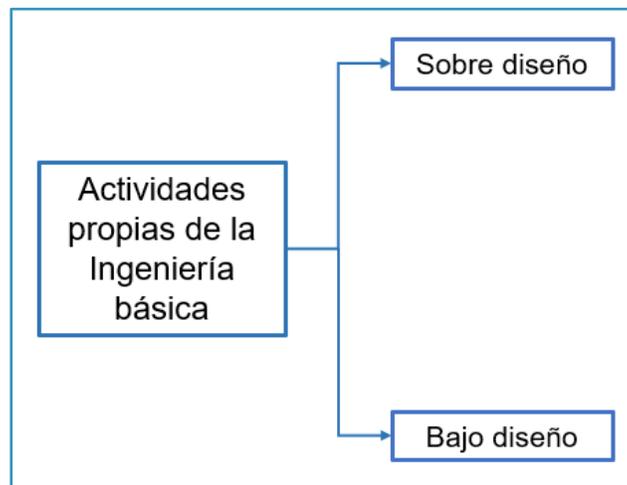


Figura 16. Derivaciones del diseño que se pueden presentar dentro de las actividades propias de la ingeniería básica. Elaboración propia

Para una mayor comprensión, se presentan algunos ejemplos generales de la segunda fuente de mal funcionamiento, enfocada a equipos, áreas, o a todo el sistema, aplicables al caso de estudio.

- Inadecuada eliminación de componentes de gran tamaño en el Pretratamiento debido a la gran separación existente entre las rejillas de cribado (por lo tanto, existe un bajo diseño).
- Aumento en la potencia de la bomba del cárcamo debido a que la densidad del líquido es mayor que la calculada cuando se seleccionó la bomba.
- Bajo diseño del desarenador, causando una deficiencia en la eliminación de arenas, provocando daños en los equipos electromecánicos.



Figura 17. Equipo de bombeo expuesto en una zona riesgosa dentro de la PTAR Tlalpizahuac (Espinoza & Sepúlveda, Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de México en los Informes de la Auditoría Superior de la Federación 2012-2013, 2015)

5 Resultados

5.1 Aplicación del mal funcionamiento dentro del caso de estudio: PTAR de una manera general

Las dos fuentes de mal funcionamiento presentadas son las siguientes:

1. Primera fuente de mal funcionamiento: originada del sobre diseño o bajo diseño de las Bases de diseño propuestas en la fase de Ingeniería Básica.
2. Segunda fuente de mal funcionamiento: originada del sobre diseño o bajo diseño de los equipos, las áreas o todo el sistema; derivado del desarrollo de la Ingeniería básica (y/o de la Ingeniería de detalle) si es que los cálculos con base a las especificaciones de las Bases de diseño no fueron correctos.

En la figura 17 se muestra un Diagrama de Flujo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales de manera general.

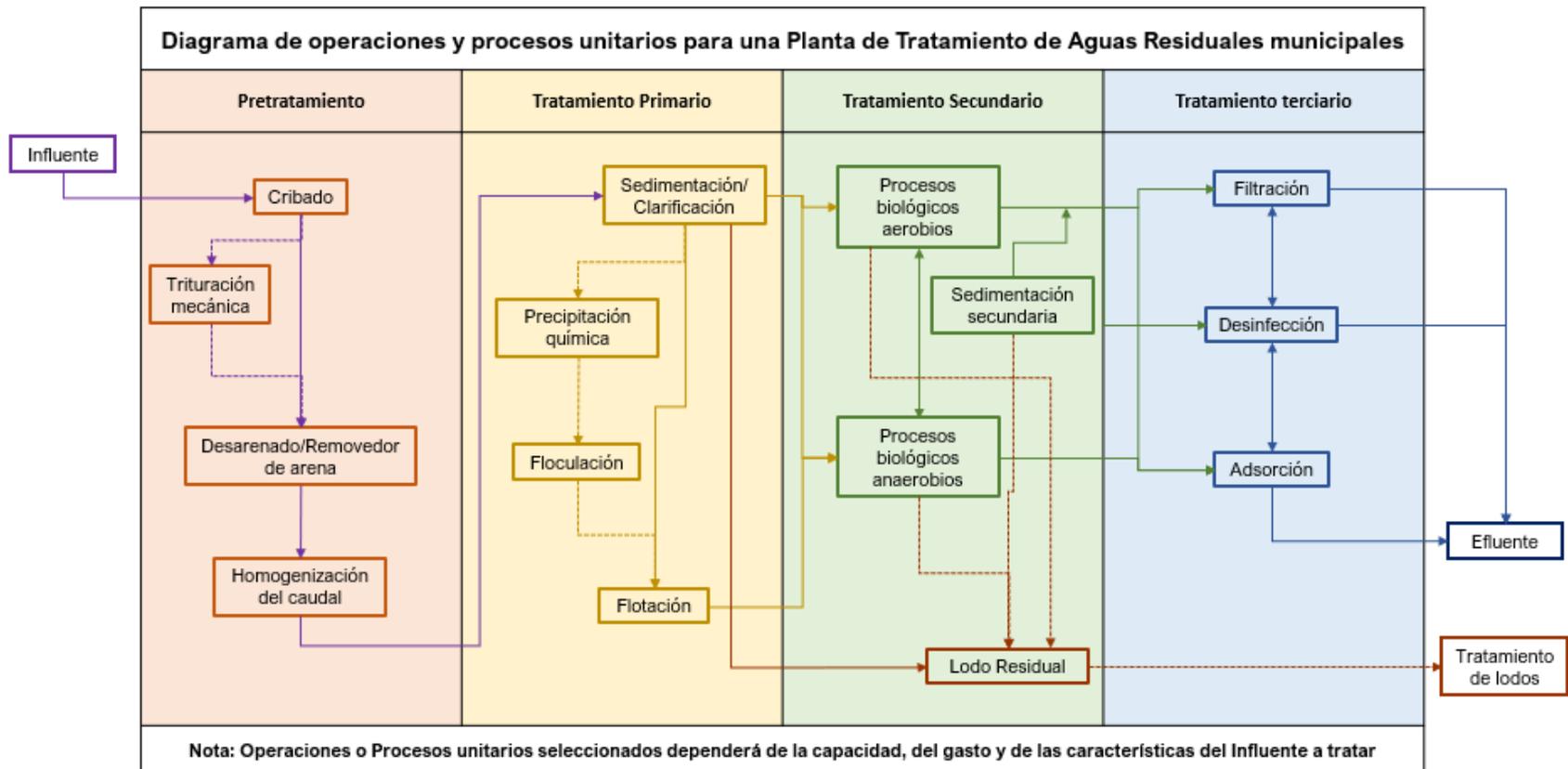


Figura 18. Diagrama de flujo de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales convencional. Elaboración propia

El presente diagrama será tomado en cuenta para ubicar el nivel de tratamiento, así como las operaciones o procesos unitarios de los casos considerados; se resalta que, únicamente se tomaron en cuenta aquellos que, si bien se presentan en la etapa de Operación y Mantenimiento, surgen en la etapa de Concepción y desarrollo, específicamente en la fase de Ingeniería básica. En las tablas 11-15 se desglosan los casos de mal funcionamiento considerados.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 11. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del pretratamiento

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Pretratamiento	El sistema de cribado permite la entrada de componentes de gran tamaño como trozos de madera, plásticos, etc.	*Sistema de cribado bajo diseñado, gran separación se rejillas	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado del bajo diseño de los equipos
	Encontrar materiales inapropiados en el impulsor de las bombas. Ruidos inusuales, alta demanda de energía.	*Bombas inadecuadas para el pretratamiento *Transporte de sólidos a través de las rejillas	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en bases de diseño para equipos
	Rápida abrasión de equipos mecánicos en movimiento aguas abajo del desarenador.	*Alta velocidad y/o tiempo de retención hidráulico demasiado corto	Segunda fuente de mal funcionamiento originado en equipos
	Canal Parshall ahogado (en la corriente de entrada a la planta).	*Gasto de operación mayor al de diseño	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en bases de capacidad, rendimiento y flexibilidad

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 12. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Primario

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento Primario	Formación de flóculos, eliminación deficiente en el tanque de sedimentación.	*Velocidad excesiva entre floculación y sedimentación *Problema operacional del tanque de sedimentación	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en un equipo, equipo bajo diseñado
	Flóculo ligero y poco sedimentable (baja remoción en sedimentación) en los floculadores.	*Variación del caudal de diseño y características del agua cruda	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, poca caracterización del influente
	Cortos circuitos y zonas muertas. Tiempo de retención diferente al óptimo en los floculadores.	*Diseño inadecuado *Tipo y ubicación inapropiada de estructuras de entrada, salida e interconexión de cámaras *Sentido de rotación inadecuado en floculadores mecánicos de acuerdo con la geometría del tanque	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en bases de diseño para equipos
	Turbiedad del agua de salida mayor a la requerida en el sedimentador. Arrastre de flóculos.	*Configuración inadecuada de entrada. Orificios tapados *Faltan o están mal nivelados los vertederos de salida del agua sedimentada.	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en un equipo.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Primario (Continuación de la tabla 12)

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento Primario	Falta de descarga en el influente.	*Baja potencia de la bomba	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en bases de diseño para equipos (especificaciones de bombas para el tratamiento primario)
	El retiro de material no es suficiente. La duración de la sedimentación primaria no es la adecuada.	*Tiempo de retención muy corto	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en el área y/o equipo de sedimentación
	El tiempo real de retención y la cantidad de sobrecarga, no son las de diseño de condiciones promedio y con recirculación.	*El clarificador final se diseña sin considerar retorno de lodos	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en capacidad, rendimiento y flexibilidad

En la figura 19 se muestra un sedimentador primario fuera de servicio por errores de diseño.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Figura 19. Sedimentador primario fuera de servicio de la PTAR Cuatro Vientos, Ixtapaluca, Edo Mx. (Espinoza & Sepúlveda, (Trabajo de Investigación), 2015)

Tabla 13. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Secundario

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento secundario	Difusores de aire obstruidos, Reducción del caudal de aire, aumento de la pérdida de carga en la línea de aire.	<ul style="list-style-type: none"> *Presencia de óxido en la tubería de aire *Crecimiento de material orgánico o precipitación de sólidos sobre difusores de aire *Deposición sólida sobre difusores de aire durante la interrupción de la aireación 	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, si es originado por el óxido (condiciones ambientales)
	Se detecta en el agua un color negro después del sistema de la aireación, los lodos no se asientan en los tanques de sedimentación, existe olor desagradable.	<ul style="list-style-type: none"> *Color negro debido a la carencia de oxígeno *Incremento de carga orgánica *Niveles de OD en los tanques de aireación no son los adecuados 	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en un equipo, bajo diseño del sistema de aireación

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Secundario (Continuación de la tabla 13)

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento Secundario	Lodos cambian a un color marrón muy claro, incapacidad de sedimentación de lodos con agua en el clarificador.	*Presencia repentina de sustancias tóxicas que inhiben el crecimiento de la biomasa y la muerte de los microorganismos	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, debido a una deficiencia en el control de alimentación de las corrientes de entrada a la planta. pH bajo especialmente una condición ácida prolongada en el tanque de aireación
	Lodo flotante visto en el clarificador secundario	*Condición anóxica, desnitrificación inesperada que ocurre debido a la presencia de cierto tipo de géneros bacterianos, por lo que: El lodo se descompone, Problemas de volumen	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, debido al no considerarse una instalación de desnitrificación (dependiendo de la naturaleza del agua a tratar). Generalmente, sin una instalación de desnitrificación, el nitrato presente en las

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Secundario (Continuación de la tabla 13)

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento Secundario	Lodo flotante visto en el clarificador secundario	*Posible aireación excesiva	aguas residuales puede desnitrificarse en el tanque de aireación y el clarificador
	Líquido de color chocolate negro, con una fina capa de espuma en el tanque de aireación	*Probablemente el sistema es antiguo, y el lodo es demasiado viejo *Posible presencia de bacterias filamentosas	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en un área, específicamente en el tratamiento secundario
	Espuma color blanquecino, ligero y esponjoso	*La espuma química es causada por la presencia de detergente debido a las características de las aguas residuales	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, en las especificaciones de la alimentación

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Secundario (Continuación de la tabla 13)

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento Secundario	Falta de mantenimiento en el clarificador secundario.	*Debido al diseño del sistema no es posible el mantenimiento ni recolección de sólidos sedimentados	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en diseño de equipo
	Alto contenido de SST en el efluente del clarificador secundario.	*Malas características de sedimentación de lodos *No funciona correctamente el raspador *Problemas en aireadores	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en un área
	Los lodos activados mueren en poco tiempo.	*Material tóxico en el influente	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, en las especificaciones de la alimentación

En la figura 20 se muestra un reactor rectangular con presencia de lodos en la superficie debido a fallas eléctricas en los aireadores.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES



Figura 20. Reactor biológico de la PTAR San Luis Tlaxialtmalco, con lodos en la superficie. (Riveros, 2013)

Tabla 14. Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Terciario

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento terciario	El recuento de coliformes no cumple con los estándares requeridos para la desinfección.	*Inadecuada capacidad del equipo de cloración	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en las especificaciones de diseño de equipo
	El cloro residual en el efluente varía ampliamente.	*Capacidad del medidor de proporción de flujo de cloro inadecuado para cumplir con los caudales de la planta	Segunda fuente de mal funcionamiento: originado en un equipo

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Casos de mal funcionamiento presentados dentro del Tratamiento Terciario. (Continuación de la Tabla 14)

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
Tratamiento terciario	Incremento de concentración de bacterias en el efluente tratado.	*Aves migratorias y otros animales salvajes o domésticos pueden aumentar de manera significativa la concentración de bacterias en el efluente	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, no haber considerado dentro de las bases de diseño el tipo de fauna silvestre y doméstica entorno a las instalaciones.

En la figura 21 se observan cilindros de cloro utilizados generalmente para la desinfección de agua residual, debido a su bajo costo, confiabilidad y eficiencia.



Figura 21. Cilindros de cloro utilizados para la desinfección de agua en el tratamiento terciario. (CONAGUA, 2019)

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 15. Casos de mal funcionamiento presentados dentro de una PTAR de manera general

Niveles o subsistemas de tratamiento	Deficiencia presentada	Posibles causas	Observaciones
En todo el sistema de una PTAR	Corrosión a lo largo de distintas partes que conforman el sistema de tratamiento.	*El sulfuro de hidrógeno en contacto con los contactores y tuberías *No se cuenta con revestimientos protectores en tuberías y conectores	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en condiciones de operación, así como del tipo de tratamiento seleccionado
	Se presentan hundimientos en estructura de la PTAR.	*No se toma en cuenta las fallas estructurales del terreno	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño, específicamente en los criterios de diseño civil
	No considerar futuras expansiones (Diámetros de tubería, capacidad de tanques, capacidades de equipos).	*Diseño estructural deficiente al no considerar futuras expansiones	Primera fuente de mal funcionamiento: originado en las Bases de diseño

En la figura 22 se muestra un tanque de almacenamiento con daños por hundimiento del terreno.



Figura 22. Tanque de almacenamiento de agua tratada, daños por hundimiento del terreno donde se encuentra la PTAR San Juan de Aragón, CdMx. (Riveros, 2013)

5.1.1 Ramas de la ingeniería involucradas dentro del mal funcionamiento en una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales

Dependiendo de la naturaleza, los objetivos y las metas propuestas, los proyectos se conforman a lo largo de su vida útil por distintos tipos de Ingenierías, donde cada una aporta de manera eficiente los conocimientos necesarios para ejecutar de manera adecuada el proyecto.

Las Ingenierías que forman parte del proceso de conformación de un proyecto como lo es una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales son las siguientes:

- Ingeniería de Proceso
- Ingeniería de Proyectos (Ingeniero Químico, Ingeniero Civil, Ingeniero Eléctrico, Ingeniero Mecánico)
- Ingeniería Civil
- Ingeniería Eléctrica
- Ingeniería Mecánico
- Ingeniería con especialidad en sistemas de instrumentación y control

A continuación, se presentan casos de mal funcionamiento, considerando las distintas ramas de la Ingeniería aplicables a una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (tabla 16).

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Tabla 16. Mal funcionamiento de una PTAR tomando en cuenta las distintas ramas de ingeniería aplicables

Ramas de la Ingeniería aplicables al caso de estudio	Ejemplos de mal funcionamiento
Ingeniería de Proyectos	No entregar en el tiempo establecido el proyecto de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales
	Gasto excesivo de dinero, requerir de una inversión mucho mayor a la contemplada, para llevar a cabo el proyecto; no realizar de una manera inadecuada la gestión de los recursos humanos y económicos
	No considerar expansiones futuras de la planta debido al incremento de demanda de aguas tratadas
Ingeniero Civil	No realizar la inspección visual de los tanques que conforman la planta de tratamiento (definir mediante un criterio de funcionalidad y durabilidad de cada una de las posibles anomalías existentes en cada unidad) en la fase de arranque o de operación
Ingeniero Civil	No revisar de manera adecuada que las estructuras o edificaciones que conforman el proyecto cumplan con el diseño requerido
	Sugerir inapropiadamente materiales para la construcción de baja calidad o no adecuados al entorno del proyecto
Ingeniero Eléctrico	<p>No inspeccionar el buen funcionamiento de los sistemas para el suministro de energía dentro de la planta.</p> <p>No considerar las posibles fallas en el sistema de suministro de energía (así como las medidas necesarias para afrontar dicho problema), como contar con una fuente alterna de generación de energía.</p>

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Mal funcionamiento de una PTAR tomando en cuenta las distintas ramas de ingeniería aplicables.
(Continuación de la Tabla 16)

Ramas de la Ingeniería aplicables al caso de estudio	Ejemplos de mal funcionamiento
Ingeniero Mecánico	Omitir la verificación del buen funcionamiento y el cumplimiento de los sistemas que realizan la conversión de energía como bombas, compresores, sopladores, etc.
Ingeniero con especialidad en sistemas de instrumentación y control	No llevar a cabo la supervisión de la correcta ejecución de Instrumentos de medición, Manejo de señales, Sistema de control de proceso
	No contar con equipos calibrados, necesarios para realizar las mediciones de las características de la corriente de agua a tratar

6 Discusión

Dentro del proyecto de construcción de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, la formulación, planeación, selección y diseño de un sistema de tratamiento se debe considerar (Noyola, Morgan, & Güereca, 2013):

- La disponibilidad de recursos económicos y técnicos
- Las características del agua residual a tratar con relación a las variaciones de caudal
- Tipo y concentración de contaminantes
- Criterios establecidos para la descarga del efluente tratado a un cuerpo receptor o bien para su eventual uso
- El impacto social y económico que produce la instalación de una planta de tratamiento en una población.

Sin embargo, como menciona (de la Vega, 2012), dentro de las causas del rezago de las PTAR's municipales en nuestro país, se encuentra que los diseños de

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

algunas de ellas están sobredimensionados, en los que además, se observa una excesiva mecanización, que encarece y complica la operación y el mantenimiento.

Muchas de las plantas de tratamiento de nuestro país se enfrentan a problemas, como los costos de operación, que son tan altos que se requiere participar en algún programa de operación federal o estatal, que permita mantener su operación, sin embargo; son escasas las que tienen acceso a este tipo de programas, y en la mayoría de los casos, las autoridades municipales son las encargadas de la operación de las plantas de tratamiento.

Los operadores de varias de ellas, reportan que un alto porcentaje de las plantas tienen una baja deficiencia en la remoción de contaminantes, ocasionando que no se cumpla con la normatividad vigente, y que ambientalmente se produzcan desechos tóxicos como resultado de su operación, por ejemplo, el empleo generalizado de métodos convencionales de tratamiento, en particular el de los lodos activados (segundo tipo de proceso más utilizado en el país (CONAGUA, 2018) con 725 plantas), el cual requiere un uso intensivo de productos químicos y de energía en el proceso, genera emisiones de contaminantes al aire (como amoníaco) y tiene como residuo grandes cantidades de lodos tóxicos para los que no se tienen sitios seguros de disposición final.

Dentro de los documentos fundamentales para esta investigación, así como para conocer la situación de las PTAR's municipales en nuestro país, se encuentran los obtenidos de la base del Sistema Nacional de información del Agua (SINA): las Estadísticas del Agua en México, el Atlas del Agua en México, el Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación y el Resumen del Programa Nacional Hídrico, y es en este último que destaca que las plantas de tratamiento de aguas residuales son ineficientes, grandes consumidoras de electricidad y no cuentan con el mantenimiento adecuado para dar cumplimiento a las normativas, y que al año 2018, el 24% de las PTAR's a nivel nacional se encuentran abandonadas o sin operar.

Además de los problemas sociales y gubernamentales, se expuso que existe un rezago importante en el propio funcionamiento de las plantas de tratamiento, es por esto, que el presente trabajo se enfocó en establecer un análisis centrado en el mal funcionamiento desde un enfoque de ingeniería, el cual adquiere relevancia ya que está estrechamente relacionado con el buen funcionamiento de una PTAR; y que además su planificación, operación y mantenimiento estará fuertemente ligado al presupuesto del gobierno.

Tomando como referencia el Ciclo de vida de un Proyecto, se presentaron las dos fuentes de mal funcionamiento, ubicadas en la etapa de Concepción y Desarrollo, en específico en la fase de Ingeniería básica (ya que es en esta fase en donde el equipo de ingeniería puede tomar todos los datos precisos para realizar el cálculo detallado de los componentes y sus partes y finalizar el proyecto con garantías de éxito, la fase de Ingeniería básica, aparte de realizar procesos de análisis y síntesis, se caracteriza por que engloban las grandes decisiones de toda actividad proyectual).

Como se observó, la primera fuente de mal funcionamiento tiene como origen el sobre diseño o bajo diseño de las Bases de diseño, mientras que la segunda fuente se deriva del desarrollo de la Ingeniería básica (y/o de la Ingeniería de detalle) si es que los cálculos con base a las especificaciones de las Bases de diseño no fueron correctos, esta fuente de mal funcionamiento se puede presentar en los equipos, las áreas o en toda la planta.

Para el análisis de los casos de mal funcionamiento, se investigó en la literatura aquellos que se habían reportado del año 2012 a la fecha, en auditorías y evaluaciones realizadas a las PTAR's municipales del país, revistas especializadas de tratamiento de aguas residuales, trabajos de investigación, así como guías técnicas especializadas que han surgido, derivadas de la experiencia del personal para resolver los problemas que se han presentado en las plantas de tratamiento; encontrando más de 80 casos de mal funcionamiento en distintas etapas tanto del Ciclo de vida como del tratamiento de las PTAR's.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Si bien, los casos analizados se reportan de distintas fuentes, todas tienen algo en común, y es el mal funcionamiento que se ha presentado a lo largo de su Ciclo de vida; sin embargo, como se ha mencionado, este trabajo está enfocado a la etapa de Concepción y desarrollo, por lo que, de los casos encontrados, se tomaron en cuenta aquellos que, surgen en la etapa de Concepción y desarrollo, específicamente en la fase de Ingeniería básica, pero se presentan en la etapa de Operación y Mantenimiento.

Derivado de lo anterior, es necesario considerar dentro de las Bases de diseño aspectos relacionados con las operaciones de mantenimiento, una evaluación económica enfocada a evitar el deterioro de la planta, así como la posibilidad de ampliaciones en caso de requerirlo, sin que esto perjudique y provoque problemas de mal funcionamiento a futuro.

De igual manera, cabe resaltar que, tanto para el diseño del proyecto de una PTAR, así como para el aseguramiento establecido de la calidad del agua tratada; es necesario conocer las características del influente a tratar; y en caso de que la planta ya se encuentre en operación, es fundamental revisar las condiciones de diseño contra las condiciones actuales.

También, es fundamental que las distintas disciplinas involucradas, cuenten con los conocimientos necesarios para lograr tanto los objetivos como las metas a corto y largo plazo del proyecto de una PTAR.

Se resalta la importancia de contar con manuales específicos para cada planta de tratamiento, así como realizar pláticas de difusión hacia las personas encargadas de la planta, con la finalidad de reducir y detectar posibles causas de mal funcionamiento; ya que por falta de información muchas veces no se realizan los tratamientos adecuados.

Las autoridades correspondientes contemplan la implementación de mejoras en las plantas de tratamiento actuales, sin embargo, es importante destacar que, a menudo solo se quedan en propuestas; muchas veces, como se ha mencionado,

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

por la falta de recursos, focalización y conocimiento de la importancia de seguir dándoles mantenimiento y corregir sus problemas.

Si bien, las autoridades correspondientes saben que muchas de las plantas de tratamiento no funcionan adecuadamente, es de vital importancia que las disciplinas de ingeniería encaminadas en la posible creación de un proyecto como lo es una PTAR municipal, sepan que existen efectos derivados de una mala Concepción y Desarrollo de un proyecto, y que muchas veces no es posible corregir fácilmente, aunado a que estas correcciones dependerán de recursos que el gobierno considere destinar.

Percibir los factores externos como internos a los que está expuesto el Ciclo de vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, nos da un panorama diferente para prevenir y corregir las posibles causas del mal funcionamiento.

Con el presente trabajo se buscó exponer y concientizar que la Etapa de Concepción y desarrollo, específicamente en la fase de Ingeniería básica, es crítica dentro del Ciclo de vida de un proyecto, ya que mucha de la información recolectada en esta fase, será crítica para asegurar el éxito o el fracaso de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, por lo que, al presentar estas dos fuentes de mal funcionamiento, se da a conocer la importancia de la influencia que tendrán dentro del proceso y las repercusiones presentes y futuras.

Como se observó, el enfoque de investigación estuvo dirigido a la literatura donde se reportan casos de mal funcionamiento de PTAR's municipales, muchos de estos casos son resueltos por medio de factores empíricos, sin embargo dependiendo de la problemática, será necesario replantearse la situación, por lo que esto puede derivar en un gasto ya sea de recursos humanos, energéticos y económicos, que probablemente se pudieron evitar si se hubieran detectado en la fase de Desarrollo y concepción del proyecto.

Para complementar y como sugerencia, para determinar las demás fuentes de mal funcionamiento, se propone realizar un análisis de Causa-efecto en cada parte del

Ciclo de vida, específico para una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales.

Por último, las fuentes de mal funcionamiento que se presentaron se centran en una parte del Ciclo de vida de una PTAR, sin duda se encontrarán más en el camino, por lo que es importante empezar a entender estos problemas desde el enfoque de varias disciplinas, ya que así se asegura una buena interpretación de las soluciones y resultados finales exitosos a lo largo de la vida útil de dicho proyecto y con esto evitar su posible abandono.

7 Conclusiones

Como se observó a lo largo del presente trabajo, existe un gran rezago en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales municipales en nuestro país.

Si bien las autoridades correspondientes saben que muchas de las plantas de tratamiento no funcionan adecuadamente, es de vital importancia que las disciplinas de ingeniería encaminadas en la posible creación de un proyecto como lo es una PTAR municipal sepan que existen efectos derivados de una mala Concepción y Desarrollo de un proyecto.

Se cumplieron con los objetivos planteados, al exponer y comprender el mal funcionamiento que se presenta en las PTAR's municipales, así como comprender sus posibles causas, además de presentar dos fuentes de mal funcionamiento y aplicarlas a casos reales reportados en la literatura:

1. Primera fuente de mal funcionamiento: originada del sobre diseño o bajo diseño de las Bases de diseño propuestas en la fase de Ingeniería Básica.
2. Segunda fuente de mal funcionamiento: originada del sobre diseño o bajo diseño de los equipos, las áreas o todo el sistema; derivado del desarrollo de la Ingeniería básica (y/o de la Ingeniería de detalle) si es que los cálculos con base a las especificaciones de las Bases de diseño no fueron correctos.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Se sabe que el tratamiento de aguas residuales es necesario para la prevención de la contaminación ambiental y del agua, al igual que para la protección de la salud pública; es por esto que es necesario empezar a entender estos problemas desde el enfoque de varias disciplinas.

Se concluye que la etapa de Concepción y desarrollo, específicamente en la fase de Ingeniería Básica, es crítica dentro del Ciclo de vida de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales municipales, por lo que, estando conscientes de que muchas veces no es posible corregir fácilmente el mal funcionamiento dentro de éstas y que además las correcciones dependerán de recursos que el gobierno considere destinar, se consolida el posible éxito o fracaso del proyecto.

8 Bibliografía

- Anaya Durand, A., Barragán Acevedo, R., & Vergara Vega, A. (2015). *Manual de temas selectos de Ingeniería de Proyectos*. México: UNAM.
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (25 de 08 de 2014). *Reglamento de la Ley de Aguas Nacionales*. Obtenido de Leyes Federales de México: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/regley/Reg_LAN_250814.pdf
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (05 de 06 de 2018). *Ley General del Equilibrio Ecológico y La Protección al Ambiente*. Obtenido de Leyes Federales de México: <http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/ref/lgeepa.htm>
- Cámara de Diputados del H. Congreso de la Unión. (06 de 01 de 2020). *Ley de Aguas Nacionales*. Obtenido de Leyes Federales de México: http://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/16_060120.pdf
- CONAGUA. (2015). *Inventario Nacional de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas residuales en operación*. México: CONAGUA.
- CONAGUA. (2018). *Estadísticas de Agua en México. Edición 2018*. Obtenido de Sistema Nacional de Información del Agua: <http://sina.conagua.gob.mx/sina/index.php?publicaciones=1>
- CONAGUA. (Diciembre de 2018). *Inventario de Plantas Municipales de Potabilización y de Tratamiento de Aguas Residuales en Operación, Diciembre 2018*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/inventario-de-plantas-municipales-de-potabilizacion-y-de-tratamiento-de-aguas-residuales-en-operacion>
- CONAGUA. (02 de Enero de 2019). *Biblioteca Digital de MAPAS*. Obtenido de Manual 25. Introducción al tratamiento de Aguas Residuales Municipales: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (02 de Enero de 2019). *Biblioteca Digital MAPAS*. Obtenido de Manual 32. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales. Tratamiento y Disposición de Lodos: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (02 de Enero de 2019). *Biblioteca Digital MAPAS*. Obtenido de Manual 26. Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario: <https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (02 de Enero de 2019). *Biblioteca Digital MAPAS*. Obtenido de Manual 46. Operación y Mantenimiento de Plantas de Tratamiento de Aguas

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Residuales Municipales: Pretratamiento y Tratamiento Primario:
<https://www.gob.mx/conagua/documentos/biblioteca-digital-de-mapas>
- CONAGUA. (22 de Mayo de 2020). *Programa Nacional Hídrico (PNH) 2020-2024. Resumen*. Obtenido de <https://www.gob.mx/conagua/documentos/programa-nacional-hidrico-pnh-2020-2024>
- Danielvif. (18 de Septiembre de 2011). *Alternativas para el manejo y control de lodos residuales. [Fotografía]*. Obtenido de <http://reducir-reutilizar-reciclar.blogspot.com/2011/09/tratamiento-de-lodos.html>
- de la Vega Salazar, M. Y. (2012). *Eficiencia en Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. México: REFUGIA CENTRO PARA LA CONSERVACIÓN DE LA ECOBIODIVERSIDAD A. C.
- Editorial Definición MX. (29 de Junio de 2014). *Funcionamiento* . Obtenido de <https://definicion.mx/funcionamiento/>
- Espinoza, J., & Sepúlveda, M. (2015). (Trabajo de Investigación). *Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de México en los Informes de la Auditoría Superior de la Federación 2012-2013*. Controla tu gobierno A.C., Estado de México. Obtenido de <https://agua.org.mx/biblioteca/las-plantas-de-tratamiento-de-aguas-residuales-del-estado-de-mexico-en-los-informes-de-la-auditoria-superior-de-la-federacion-2012-2013/>
- Espinoza, J., & Sepúlveda, M. (2015). *Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales del Estado de México en los Informes de la Auditoría Superior de la Federación 2012-2013*. Obtenido de Controla tu Gobierno. Herramientas para el control social de la acción gubernamental: <https://controlatugobierno.com/wp-content/uploads/2018/07/Cuaderno-de-trabajo-3-CTG.pdf>
- Filtration+Separation. (21 de Noviembre de 2017). *Finer screen solves clogging problem at WWTP. Filtration+Separation*. Obtenido de <https://www.filtsep.com/water-and-wastewater/features/finer-screen-solves-clogging-problem-at-wwtp/>
- Gómez de León, F. C. (1998). *Tecnología del Mantenimiento Industrial*. España: Universidad de Murcia. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?id=bOrFC3532MEC&pg=PA21&lpg=PA21&dq=La+necesidad+de+la+industria+competitiva+actual+de+asegurar+el+correcto+funcionamiento+de+los+equipos+de+producci%C3%B3n,+as%C3%AD+como+de+obtener+de+ellos+la+m%C3%A1xima+disponibilidad>
- Grupo Funcional Desarrollo Económico. (2014). *Auditoría de Desempeño: 14-0-16B00-07-0130. Informe del Resultado de la Fiscalización Superior de la Cuenta Pública 2014*. México. Obtenido de

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

https://www.asf.gob.mx/Trans/Informes/IR2014i/Documentos/Auditorias/2014_0130_a.pdf

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). México: Mc Graw Hill.

Jiménez Cisneros, B. E. (2001). *La contaminación ambiental en México: causas, efectos y tecnología apropiada*. México: Editorial Limusa, S.A. de C.V., Grupo Norigea Editores. Obtenido de <https://books.google.com.mx/books?id=8MVxlyJGokIC&pg=PA127&dq=tipos+de+sólidos+presentes+en+el+tratamiento+de+aguas+residuales&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwi-zcWio-nrAhWUHM0KHfj3DoEQ6AEwAXoECAIQAg#v=onepage&q&f=true>

Jumapam. (2021). *Planta Tratadora El Crestón [Fotografía]*. Obtenido de <http://jumapam.gob.mx/planta-tratadora-el-creston/>

Junco, J. (29 de Marzo de 2015). *Monitoreo Ambiental. Agua, aire, ruido, meteorología. [Fotografía]*. Obtenido de <http://www.monitoreoambiental.com/lodos-activados/>

Lahera Ramón, V. (2010). Infraestructura sustentable: Las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales. *Quivera. Revista de Estudios Territoriales*, 58-69. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=40115676004>

Lozano Rivas, W. A. (2012). *Diseño de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales*. Colombia: Universidad Piloto de Colombia. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/298354134_Diseño_de_Plantas_de_Tratamiento_de_Aguas_Residuales

Mendoza, R. (15 de Noviembre de 2011). *Planta de Tratamiento de Aguas Residuales "Metepac" [Fotografía]*. Obtenido de <http://recsistemas.blogspot.com/2011/11/planta-de-tratamiento-de-aguas.html>

Metcalf y Eddy, Inc. (1995). *Ingeniería de aguas residuales. Tratamiento, vertido y reutilización*. España: McGraw Hill.

Morgan Sagastume, J. M. (15 de Marzo de 2017). *Análisis del estado de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales en la república mexicana*. Obtenido de Gaceta del Instituto de Ingeniería: <http://gacetaii.iingen.unam.mx/Gacetall/index.php/gii/article/view/2123>

Moserrath, C. M. (2018). *Ingeniería de Proyectos de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales con fines de recarga a mantos acuíferos ubicada en la delegación Tlalpan*. Ciudad de México: Tesis UNAM.

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

- Noyola, A., Morgan, J. M., & Güereca, L. P. (2013). *Selección de Tecnologías para el tratamiento de aguas residuales municipales*. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Nuevo, D. (17 de Abril de 2018). *Cloración en tratamiento de aguas*. [Fotografía]. Obtenido de <https://www.tecpa.es/cloracion-tratamiento-aguas/>
- Periódico La Jornada. (22 de Noviembre de 2019). *Olvidadas, Plantas de tratamiento de aguas en el Edomex*. [Fotografía]. Obtenido de <https://www.jornada.com.mx/2019/11/22/estados/033n1est>
- PROFECO. (26 de octubre de 2015). *Normas Oficiales Mexicanas competencia de la Procuraduría Federal del Consumidor*. Obtenido de Marco Jurídico y Normativo : <https://www.profeco.gob.mx/juridico/noms.asp>
- Project Management Institute. (2013). *Guía de los Fundamentos para la Dirección de Proyectos*. EE.UU.: PMI Global Standard.
- Ramos Olmos, R., Sepúlveda Marqués, R., & Villalobos Moreto, F. (2003). *El Agua en el medio ambiente. Muestreo y análisis*. Baja California, México: Plaza y Valdés Editores. Obtenido de https://books.google.com.mx/books?id=b8l-xhchPEYC&pg=PA65&dq=caracteristicas+fisicas+quimicas+y+biologicas+d+el+agua+residual&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwj32_jlnerrAhWMZ80KHagKAK4Q6AEwAHoECAIQAg#v=onepage&q=caracteristicas%20fisicas%20quimicas%20y%20biolog ic
- Riveros Olivares, B. (2013). *Tratamiento de Aguas Residuales Municipales en la Ciudad de México. (Tesis de Licenciatura)*. UNAM, CdMx.
- Spellman, F. (2014). *Handbook of Water and Wastewater Treatment Plant Operations* (3ra edición ed.). US: CRC Press.
- Teqma. (09 de 04 de 2018). *La importancia de la separación de aceites y grasas en el tratamiento del agua residual urbana*. [Fotografía]. Obtenido de [iagua: https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana](https://www.iagua.es/noticias/teqma/importancia-separacion-aceites-y-grasas-tratamiento-agua-residual-urbana)
- Theobald, D. (2014). *Activated-sludge troubleshooting guidelines*. *Water Technology*. Obtenido de <https://www.watertechonline.com/wastewater/article/15545351/activatedsludge-troubleshooting-guidelines>
- Theobald, D. (Febrero de 2016). *Troubleshooting Bacteria Levels at Wastewater Treatment Plants*. *Processing Magazine*. Obtenido de https://www.tceq.texas.gov/assets/public/comm_exec/pubs/rg/rg-515.pdf

INFLUENCIA DEL MAL FUNCIONAMIENTO DENTRO DE UN PROCESO, CASO DE ESTUDIO: PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Universidad de Valencia. (2015). *Fundamentos del Diseño Industrial. Tema 12*. Obtenido de http://ocw.uv.es/ingenieria-y-arquitectura/expresion-grafica/eg_tema_12.pdf

Universidad Politécnica de Cartagena. (Febrero de 2013). *Ingeniería básica. Tema 3*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/11565/mod_resource/content/1/Tema%203.%20Ingenier%C3%ADa%20b%C3%A1sica.pdf

Universidad Politécnica de Cartagena. (Febrero de 2013). *Ingeniería de Detalle. Tema 4*. Obtenido de https://ocw.bib.upct.es/pluginfile.php/11566/mod_resource/content/1/Tema%204.%20Ingenier%C3%ADa%20de%20detalle.pdf

Universidad Técnica de Hamburgo. (1999). *Lesson C1: Operation and Management of WasteWater Treatment Plants*. Obtenido de https://cgi.tu-harburg.de/~awwwweb/wbt/emwater/lessons/lesson_c1/table_of_contents.html

Valdez, E. C., & Vázquez González, A. B. (2003). *Ingeniería de los Sistemas de Tratamiento y Disposición de Aguas Residuales*. México: Fundación ICA.

WasteWater System. (Mayo de 2012). *Biological Treatment System Troubleshooting Guide*. Obtenido de <http://www.wastewatersystem.net/2012/05/biological-treatment-system.html>