

TECNOLÓGICO DE ESTUDIOS SUPERIORES DE COACALCO

DISEÑO DE UN TREN DE TRATAMIENTO PARA AGUAS RESIDUALES Y SU REUTILIZACIÓN EN CASAS HABITACIÓN

PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
PARA OBTENER EL TÍTULO DE

I N G E N I E R O A M B I E N T A L

JOSÉ SALVADOR GUERRERO MARTÍNEZ

ESPECIALIDAD:
GESTIÓN Y TECNOLOGÍAS DEL AGUA

ASESOR:

ING. CLAUDIA OROZCO MORENO

SECRETARIA:

ING. KARLA JANETTE HIDALGO ESCALONA

VOCAL:

ING. PILAR CONCEPCIÓN JASSO JIMENEZ

SUPLENTE:

LIC. LEOPOLDO ENEDINO TÉLLEZ GUTIERREZ

COACALCO DE BERRIOZÁBAL, MÉX. AGOSTO, 2024

DEDICATORIAS

A mi Mamá:

Gracias por ser esa compañera de enseñanzas, aquella mujer que siempre me ha cobijado entre sus brazos, que nunca me ha faltado cariño, gracias por todas las lecciones que me has brindado, cada una de ellas han forjado la persona que soy ahora.

A Rebeca:

Mi persona amada, gracias por estar en los momentos que han marcado mi vida, me has enseñado que todo se puede lograr, que siempre hay luz al final del túnel, gracias por ser esa mano derecha para mí, esa persona que me motiva a crecer día a día, gracias por ser ese super héroe que no tiene capa, pero ha salvado mi mundo ininidad de veces. Te amo

“Por que gracias a su apoyo y consejo he llegado a realizar la más grande de mis metas, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir “

Con admiración y respeto.

INTRODUCCIÓN.....	9
PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	9
OBJETIVOS.....	9
Objetivo general.....	9
Objetivos particulares.....	9
JUSTIFICACIÓN.....	10
CAPITULO I MARCO TEORICO.....	11
Aguas residuales.....	12
Clasificación.....	12
Composición.....	13
Evaluación.....	14
Tratamiento.....	17
Tratamiento preliminar.....	19
Cribado, rejillas y tamices.....	19
Rejillas.....	20
Tamices.....	21
Desarenadores.....	22
Homogenización.....	23
Neutralización.....	23
Tratamiento primario.....	24
Flotación con aire disuelto.....	24
Filtración.....	26
Sedimentación.....	27
Floculación.....	29
Coagulante.....	30
Tratamiento secundario.....	30
Biorreactores anaerobios.....	31
Biorreactores aerobios.....	39
Tratamiento terciario.....	44
Eliminación de sólidos en suspensión.....	45
Adsorción en carbón activado.....	45
Osmosis inversa.....	46
Oxidación química.....	47
CAPITULO II. MARCO LEGAL.....	49
CAPITULO III ANTECEDENTES.....	56
CAPITULO IV. METODOLOGIA.....	61
Aspectos geográficos.....	62
Localización.....	62
Caracterización del agua.....	64
Muestreo.....	64
Análisis fisicoquímicos.....	65
CAPITULO V. RESULTADOS.....	69
Caracterización del agua.....	70
Tren de tratamiento.....	71
Dimensionamiento.....	81
Diagrama de flujo.....	85
Ingeniería de costos.....	86

Evaluación de impacto ambiental.....	96
Medio físico.....	98
Hidrografía.....	98
Clima.....	98
Suelo.....	99
Medio biótico.....	101
Flora.....	101
Fauna.....	101
Medio socioeconómico.....	101
Análisis de riesgos naturales e inducidos.....	102
Descripción de las instalaciones.....	102
Impactos ambientales.....	109
Análisis, dictamen y jerarquización.....	122
Evaluación y mitigación de impactos ambientales.....	123
Seguridad e higiene.....	129
CONCLUSIÓN.....	137
FUENTES BIBLIOGRAFICAS.....	138
ANEXOS.....	139
Anexo A. Manual de operación y mantenimiento	142
Anexo B. Determinación del equipo de protección personal	144

INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de aguas residuales	12
Tabla 2. Características de las aguas residuales y fuentes de origen	15
Tabla 3. Composición típica de tres clases de aguas residuales domésticas.	16
Tabla 4. Concentraciones de metales pesados que afectan la tratabilidad de las aguas residuales.	17
Tabla 5. Tipos de Tratamiento para la reducción de DBO ₅ .	18
Tabla 6. Procesos de la etapa preliminar o pretratamiento.	19
Tabla 7. Tipos de dispositivos para cribado	20
Tabla 8. Velocidad en función de temperatura.	22
Tabla 9. Tipo de suelo.	58
Tabla 10. Infraestructura en cárcamos	59
Tabla 11. Límites máximos permisibles de contaminantes	67
Tabla 12. Caracterización del agua a tratar.	74
Tabla 12.1. Caracterización de agua después del tren de tratamiento	76
Tabla 13. Costo por cada uno de los componentes para rejillas.	87
Tabla 14. Costo del material para la construcción del cárcamo de bombeo.	88
Tabla 15. Costos de los equipos para el sedimentador primario.	89
Tabla 16. Costos para la construcción del filtro biológico.	90
Tabla 17. Costos para la construcción del sedimentador secundario.	91
Tabla 18. Costos para la construcción de la planta	92

Tabla 19. Capital de trabajo	92
Tabla 20. Reinversión.	92
Tabla 21. Pago anual.	93
Tabla 22. Inversión fija.	93
Tabla 23. Crédito.	93
Tabla 24. Ingresos	94
Tabla 25. Egresos.	94
Tabla 26. Sueldos y otros gastos.	94
Tabla 27. Suelos.	100
Tabla 28. Riesgos hidrometeorológicos.	104
Tabla 29. Riesgos geológicos.	105
Tabla 30. Riesgos sanitarios.	106
Tabla 31. Riesgos químicos.	107
Tabla 32. Impactos ambientales.	109
Tabla 33. Evaluación de las interacciones identificadas.	111
Tabla 34. Etapas de construcción.	113
Tabla 35. Explotación de fuentes materiales.	114
Tabla 36. Transporte de materiales.	115
Tabla 37. Disposición de materiales de desalojo.	116
Tabla 38. Limpieza de desbroce.	117
Tabla 39. Excavación.	118
Tabla 40. Construcción de la infraestructura.	119
Tabla 41. Etapas de operación	120
Tabla 42. Etapas de mantenimiento.	121
Tabla 43. Impactos y medidas de mitigación.	122
Tabla 44. Responsabilidades de las actividades en la PTAR.	131
Tabla 45. Permisos para trabajos de alto riesgo.	133
Tabla 46. Permisos para trabajos de bajo riesgo.	133
Tabla 47. Equipos, operación, mantenimiento y medidas de seguridad.	138

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Reja de Limpieza Manual.	21
Figura 2. Cámara de un Desarenador.	22
Figura 3. Tanque de homogenización	23
Figura 4. Método de neutralización	24
Figura 5. Método de flotación por aire disuelto.	25
Figura 6. Sedimentador.	27
Figura 7. Tanque séptico.	28
Figura 8. Coagulación-Floculación.	30
Figura 9. Reactor de contacto.	32
Figura 10. Reactor anaerobio flujo ascendente con lecho.	33
Figura 11. Etapas de operación reactor ASBR	34

Figura 12. Reactor anaerobio con deflectores.	35
Figura 13. Sistema de un filtro anaerobio.	36
Figura 14. Contactores biológicos rotativos.	37
Figura 15. Reactor de lecho fluido.	39
Figura 16. Fangos activos.	40
Figura 17. Tratamiento aerobio de lodos activados.	41
Figura 18. Filtro percolador.	42
Figura 19. Biodiscos aerobios.	44
Figura 20. Coagulación-floculación	45
Figura 21. Osmosis inversa.	46
Figura 22. Oxidación inversa de aguas residuales.	48
Figura 23. Canal en la actualidad.	60
Figura 24. Ubicación del municipio de Coacalco.	62
Figura 25. Ubicación de la PTAR.	63
Figura 26. Fotos del lugar en donde se ubicará la planta de tratamiento.	64
Figura 27. Lugar y puntos de muestreo.	64
Figura 28. Muestras de agua residual	74
Figura 29. Tren de tratamiento	75
Figura 30. Diagrama de flujo	139
Figura 31. Reglas generales	140

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Coacalco de Berriozábal cuenta con una población total de 278 mil 64 habitantes (INEGI, 2010). El territorio municipal presenta dos zonas: La parte norte es plana con una altura aproximada de 2,238 msnm. La sur, la Sierra de Guadalupe con una altura cercana a los 3,000 msnm.

El proceso de urbanización ha cambiado el entorno del actual municipio de Coacalco, convirtiéndose en su mayoría en uso habitacional, disminuyendo así los recursos forestales e hídricos.

Con respecto al agua potable, esta se obtiene de 17 pozos profundos y del abastecimiento a través de la red del sistema Cutzamala, en cuanto a las aguas residuales, en la actualidad se cuenta con dos plantas de tratamiento enfocadas únicamente a las aguas de las zonas industriales, dejando de lado las aguas residuales municipales.

Los escurrimientos de agua provenientes de la Sierra de Guadalupe se contaminan al pasar por las diferentes colonias del municipio, algunos de estos se convirtieron en canales para las descargas de aguas residuales.

Tanto la urbanización, como la contaminación de aguas pluviales, se ha convertido en uno de los principales problemas de escases de agua en el municipio de Coacalco. Ya que cada vez se vuelve más difícil la recarga natural de mantos acuíferos, teniendo como consecuencia, la escasez de agua en diferentes zonas de la comuna.

INTRODUCCIÓN

En la presente investigación se muestran las operaciones unitarias, dimensionamiento de los equipos, tren de tratamiento, ingeniería de proceso, impacto ambiental y programa de seguridad e higiene necesarias para el diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales provenientes de un canal de descarga de aguas municipales ubicado en el Municipio de Coacalco de Berriozábal en el Estado de México.

Además, se describe de manera detallada la ingeniería de costos, en donde se explica cómo se solventarán los gastos de la planta para su construcción como para su funcionamiento y como se hará la comercialización de esta, después de pasar por el proceso de depuración. El agua resultante cumplirá con las especificaciones establecidas en la NORMA OFICIAL MEXICANA NOM-003-SEMARNAT-1997, la cual corresponde a los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público.

Entre las ventajas más notables que se tienen al utilizar agua residual tratada es la disposición a bajo costo, la optimización del uso del agua en zonas con déficit hídrico, así como la aplicación de esta en la industria como por ejemplo en el uso de las torres de enfriamiento, calderas de baja presión, lavado de metales, etc. El beneficio también es económico en actividades agrícolas, ya que se destinan menos ingresos al bombeo, el agua potable es para uso exclusivamente humano, los agricultores obtienen mayores ganancias y ahorran gastos en fertilizantes; también se ahorra en el costo del tratamiento de agua pues el filtro del suelo es gratis. El sector agrario consume más del 65 por ciento del agua potable. Una alternativa para optimizar el uso de este preciado recurso es aprovechar las aguas residuales para riego, y al mismo tiempo, reciclar los nutrientes contenidos en éstas. Se sabe que la tierra posee una alta capacidad de filtro y amortiguamiento y con ello, puede retener sales y contaminantes; además, puede transformar la materia orgánica contenida en el agua para aportar alimentos a las plantas. El presente proyecto está enfocado al uso de aguas residuales en casas habitación del municipio de Coacalco. Debido a la escases y desabasto que se está viviendo hoy en

día, una gran alternativa es la reutilización de aguas residuales tratadas, tanto en sanitario como en limpieza de patios y riego de áreas

Es por ello que, al diseñar una planta de tratamiento de aguas residuales, el agua resultante de dicho proceso es benéfica para irrigar los terrenos rurales, en la industria, así como otras actividades para el servicio público como recarga de acuíferos y lagos artificiales.

OBJETIVOS

Objetivo general

Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales en Coacalco, Estado de México, para su reutilización en jardines, patios y sanitarios de las casas habitación del municipio.

Objetivos particulares

- Caracterizar el agua residual del municipio para conocer su composición inicial.
- Determinar el tren de tratamiento de acuerdo con su composición inicial del agua residual del municipio.
- Dimensionar los equipos, realizar el diagrama de flujo y proyección de ingeniería de costos.
- Evaluar el impacto ambiental del proyecto y realizar el análisis de seguridad.

JUSTIFICACIÓN

Coacalco es un municipio con decadencias en la administración de recursos hídricos y en el control del suministro de agua potable a la comunidad, además de tener problemas de contaminación en cuerpos de agua donde se descargan las aguas residuales, tal caso se puede observar en la calle Allende, en el cual se ubica un canal de aguas negras, en el que desemboca gran parte de las aguas residuales de las casas habitación cercanas a este. Para ello se diseñará una planta de tratamiento situada cerca de este canal con el fin de obtener agua para utilizar en el riego, de jardineras y patios de casas habitación entre otras actividades.

La implementación de un sistema de tratamiento de aguas residuales vendría a reducir la contaminación producida en el municipio y sus efectos en sus habitantes, mejorando de esta manera las condiciones sanitarias locales y de la zona. Cuando este tipo de proyectos son ejecutados de manera correcta, su impacto total sobre el ambiente es positivo; los impactos directos incluyen la disminución de peligros para la salud humana en el área de servicios y el mejoramiento en la calidad de aguas receptoras, elimina plagas, malos olores y focos de infección.

CAPITULO 1.

MARCO TEÓRICO

Aguas Residuales

Son aquellas aguas cuyas características originales han sido modificadas por actividades humanas y que por su calidad requieren un tratamiento previo, antes de ser reusadas, vertidas a un cuerpo natural de agua o descargadas al sistema de alcantarillado (OEFA 2014).

El tratamiento de las aguas residuales es relativamente reciente. Su inicio data de fines de 1800 y principios del actual siglo. Esto se desarrolló como consecuencia de la relación entre contaminación de los recursos y cuerpos de agua y las enfermedades de origen hídrico. En un principio, el tratamiento se hacía mediante el vertido de las aguas residuales al suelo, pero prontamente la superficie de los terrenos no fue suficiente para absorber el gran volumen de aguas residuales, de ahí surgieron los primeros canales, y con ello la contaminación de cuerpos de agua (Rijas R. 2002).

Clasificación

A continuación, se muestra en la siguiente tabla, los diferentes tipos de agua residual que existen.

Tabla 1. Tipos de aguas residuales

Aguas Residuales Industriales	• Son aquellas que resultan del desarrollo de un proceso productivo, incluyéndose a las provenientes de la actividad minera, agrícola, energética, agroindustrial, entre otras.
Aguas Residuales Domésticas	• Son aquellas de origen residencial y comercial que contienen desechos fisiológicos, entre otros, provenientes de la actividad humana, y deben ser dispuestas adecuadamente.
Aguas Residuales Municipales	• Son aquellas aguas residuales domésticas que pueden estar mezcladas con aguas de drenaje pluvial o con aguas residuales de origen industrial previamente tratadas, para ser admitidas en los sistemas de alcantarillado de tipo combinado.

Fuente: Autoría propia 2022

Composición de las aguas residuales

La composición de las aguas residuales es muy variable debido a los diversos factores que lo afectan. Entre estos se tiene el consumo promedio de agua por habitante y por día que afecta su concentración (cantidad) y los hábitos alimenticios de la población que caracteriza su composición química (calidad).

En general, las aguas residuales contienen aproximadamente un 99.9% de agua y el resto está constituido por materia sólida. Los residuos sólidos están conformados por materia mineral y materia orgánica. La materia mineral proviene de los subproductos desechados durante la vida cotidiana y de la calidad de las aguas de abastecimiento. La materia orgánica proviene exclusivamente de la actividad humana y está compuesta por materia carbonácea, proteínas y grasas.

Las proteínas constituyen del 40 al 50% de la materia orgánica y están representadas por los complejos de aminoácidos y proporcionan la mayor parte de los nutrientes bacterianos. Aproximadamente un 50-60% de las proteínas se encuentran disueltas en las aguas residuales y un 20-30% en la fracción sedimentable. Los porcentajes de hidratos de carbono que se encuentran en forma disuelta y sedimentable son semejantes a las proteínas. Las grasas incluidas en los ácidos grasos no suelen ser solubles y se degradan más lentamente. (Rojas R. 2002).

De otra parte, las aguas residuales, estén o no diluidas con aguas de lluvia, contienen elementos contaminantes que al ser descargados al curso receptor pueden causar impacto ambiental y poner en riesgo la salud del hombre. Los principales contaminantes que contiene el agua residual y que pueden estar disueltos o suspendidos, se agrupan en:

1. Materia orgánica con grado variable de biodegradabilidad.
2. Compuestos nitrogenados de origen orgánico y/o mineral.
3. Compuestos fosforados de origen mineral.
4. Microorganismos compuestos por organismos saprofitos y patógenos tales como helmintos, protozoos, bacterias y virus.

Este conjunto de compuestos confiere al agua las propiedades siguientes:

1. Pestilente: Causados por la descomposición anaeróbica de la materia putrescible.
2. Tóxico: Muchos compuestos orgánicos e inorgánicos tienen efectos negativos sobre la flora y fauna.
3. Infeccioso: La presencia de microorganismos patógenos confiere al agua la propiedad de transmitir enfermedades de origen hídrico.
4. Estético: Modificación de la apariencia física.

Cabe mencionar que las descargas domésticas e industriales, pueden causar la contaminación térmica y la eutrofización de las masas de agua receptoras.

Evaluación de la calidad del agua residual

El diseño y manejo de las plantas de tratamiento de aguas residuales requieren de una evaluación de la calidad de las aguas residuales. Los principales parámetros para evaluar a este respecto son:

- Sólidos Suspendidos Totales (SST): Están compuestos por partículas orgánicas o inorgánicas fácilmente separables del líquido por sedimentación, filtración o centrifugación.
- Demanda Química de Oxígeno (DQO): Es la cantidad de oxígeno necesaria para la oxidación química (destrucción) de la materia orgánica. Esta prueba proporciona un medio indirecto de la concentración de materia orgánica en el agua residual.
- Demanda Bioquímica de Oxígeno en cinco días (DBO_5): Es la cantidad de materia orgánica fácilmente biodegradable durante cinco días y a 20°C y corresponde a la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar biológicamente la materia orgánica. La relación DQO/DBO_5 proporciona una indicación de la biodegradabilidad de las aguas residuales.
- Contenido de nutrientes (nitrógeno [N] y fósforo [P]): Estos compuestos, juntamente con la DBO_5 indican si las aguas residuales tienen la adecuada proporción de nutrientes como para facilitar la degradación de la materia orgánica presente en las aguas residuales.

- Metales pesados: La presencia en las aguas residuales de metales pesados tales como plomo, cadmio, selenio, cromo, cobre, etc., pueden ser contraproducentes para su adecuado tratamiento, al afectar a la biomasa encargada de la estabilización de la materia orgánica. Por este motivo su contenido debe ser controlado en la fuente. (Rojas R. 2002).

En la tabla 2, se presenta las principales características de las aguas residuales, así como su principal fuente de origen de los cambios de la calidad; en la tabla 3 se indica la composición típica de las aguas residuales y en la tabla 4 se indica las concentraciones de metales pesados que afectan la tratabilidad de las aguas residuales.

Tabla 2. Características de las aguas residuales y fuentes de origen

Características Físicas	Fuente de Origen
Sólidos	Suministro de agua, residuos industriales y domésticos
Temperatura	Residuos industriales y domésticos
Color	Residuos industriales y domésticos
Olor	Descomposición de los residuos líquidos
Características químicas orgánicos	
Proteínas	Residuos comerciales y domésticos
Carbohidratos	Residuos comerciales y domésticos
Aceites y grasas	Residuos comerciales, industriales y domésticos
Tensoactivos	Residuos industriales y domésticos
Fenoles	Residuos Industriales
Pesticidas	Residuos Agrícolas
Inorgánicos	
pH	Residuos industriales
Cloruros	Suministro de agua, residuos industriales e infiltraciones

Nitrógeno	Residuos agrícola y domésticos
Fósforo	Residuos agrícolas, industriales y domésticos
Azufre	Suministro de agua y residuos industriales
Tóxico	Residuos industriales
Metales Pesados	Residuos industriales
Gases	
Oxígeno	Suministro de agua e infiltraciones
Hidrógeno Sulfurado	Residuos domésticos
Metano	Residuos domésticos
Características Biológicas	
Virus	Residuos domésticos
Bacterias	Residuos domésticos
Protozoarios	Residuos domésticos
Nematodos	Residuos domésticos

Fuente: Rojas R. 2002

Tabla 3. Composición típica de tres clases de aguas residuales domésticas.

Constituyente	Concentración mg/l		
	Alto	Medio	Bajo
Sólidos Totales	1200	700	350
Disueltos	850	500	250
Fijos	525	300	145
Volátiles	325	200	105
En Suspensión	350	200	100
Fijos	75	50	30
Volátiles	275	150	70
Sólidos Sedimentables mg/l-h	20	10	5
DBO (5 días, 20 °C)	300	200	100

DQO	570	380	190
Nitrógeno Total (Como N)	85	40	20
Orgánico (Como N)	35	15	8
Amoniacal (Como N)	50	25	12
Fósforo Total (Como P)	20	10	6
Cloruros (Cl)	100	50	30
Alcalinidad (como CaCO ₃)	200	100	50
Grasas	150	100	50
Calcio (Como Ca)	110	50	10
Magnesio (Como Mg)	10	9	8
Sodio (Como Na)	100	50	23

Fuente: Rojas R. 2002.

Tratamiento de Aguas Residuales

El objetivo del tratamiento de las aguas residuales es la remoción de sustancias contaminantes a fin de evitar efectos negativos en la calidad de los cuerpos de agua receptores, y para lograr que la calidad del agua sea la adecuada para las necesidades de los usuarios. La etapa inicial del tratamiento se denomina pretratamiento y se usa para homogenizar el efluente de la planta, separar grasas y aceites, eliminar sólidos de gran tamaño tales como basura y material sedimentable mayor de 10micras. (Cortina C., Márquez R. 2008).

Tabla 4. Concentraciones de metales pesados que afectan la tratabilidad de las aguas residuales

Metal	Expresión	Concentración
Cobre	mg/l Cu	1-3
Cromo III	mg/l Cr	10-20
Cromo IV	mg/l Cr	3-10
Cadmio	mg/l Cd	3-10
Zinc	mg/l Zn	3-20
Níquel	mg/l Ni	2-10
Cobalto	mg/l Co	2-15
Cianuro	mg/l CN ⁻	0.3-2
Sulfuro de Hidrógeno	mg/l H ₂ S	5-30

Fuente: Rojas R. 2002.

Algunos autores clasifican el tratamiento de acuerdo con los contaminantes que se separan; en primario, secundario y terciario. El tratamiento primario se usa para remover sólidos suspendidos, ajustar pH y romper emulsiones. El secundario remueve materia orgánica biodegradable, entre el 80 y 95% del total. El terciario elimina sustancias orgánicas resistentes al tratamiento biológico, como detergentes,

plaguicidas, nutrientes, metales pesados y microorganismos patógenos. También el tratamiento de los lodos forma parte del tratamiento del agua residual y consiste en digerir o acondicionar los sólidos separados en el pretratamiento y en las fases primaria, secundaria y terciaria, hasta obtener un residuo inerte. En la Tabla 5 se muestran los tipos de tratamiento para la depuración de aguas residuales, así como la reducción que existe de DBO al utilizar cada uno de ellos (Cortina C., Márquez R. 2008).

Cabe mencionar que, para el caso de la remoción de contaminantes biodegradables, existen alternativas eficientes y de bajo costo en donde de acuerdo con el caudal se recomienda el tipo de tratamiento.

Tabla 5. Tipos de Tratamiento para la reducción de DBO₅.

Tipo de tratamiento	Reducción % DBO₅
Pretratamiento	15 - 20
Sedimentación	25 -40
Tanques Sépticos	15 - 25
Tanques Imhoff	25-40
Sedimentación + Filtros rociadores	80 - 95
Sedimentación + Filtros de arena	90 - 95
Sedimentación + Lodos activados convencionales	85 - 95
Estabilización por contacto (biofilm)	85 - 90
Lagunas de estabilización	85 - 95
Zanjas de oxidación	90 - 95

Fuente: Cortina C., Márquez R. 2008.

Tratamiento preliminar

Está destinado a la preparación o acondicionamiento de las aguas residuales con el objetivo específico de proteger las instalaciones.

A continuación, se señala en la tabla 6, los procesos que conlleva el tratamiento preliminar, así como el objetivo de cada uno.

Tabla 6. Procesos de la etapa preliminar o pretratamiento.

PROCESO	OBJETIVO
Rejas o Tamices	Eliminación de sólidos gruesos
Trituradores	Desmenuzamiento de sólidos
Desarenadores	Eliminación de arenas y gravilla
Desengrasadores	Eliminación de aceites y grasas
Pre-aeración	Control de olor y mejoramiento del comportamiento hidráulico.

Fuente: Rojas R. 2010.

Cribado, rejillas y tamices

El cribado, también llamado desbrozo, se emplea para la reducción de sólidos en suspensión de tamaños distintos, la distancia o las aberturas de las rejillas dependen del objeto de estas y su limpieza se hace manual o mecánicamente. Existe el cribado fino y grueso, el primero tiene aberturas máximas a 6 mm, mientras que el segundo es de 150 mm (Rojas R. 2010).

A continuación, se señala en la tabla 7, el tamaño común, así como el propósito que tienen para el tratamiento de aguas residuales los diferentes dispositivos que se utilizan en el cribado

Tabla 7. Tipos de dispositivos para cribado.

TIPOS	TAMAÑO COMÚN (mm)	PROPÓSITO
Rejas para residuos	5-10	Protege bombas y equipos de los residuos de gran tamaño (Troncos, trapos, botes, etc).
Rejillas	1.5-5	Parecidas a las rejas con aberturas más pequeñas para separar materiales más pequeños.
Tamices	0.22-0.32	Protegen las boquillas de los

		filtros percoladores.
Desmenuzadores	0.75-2	Reducir el tamaño de los materiales mediante trituración o corte, sin removerlo de las aguas residuales.

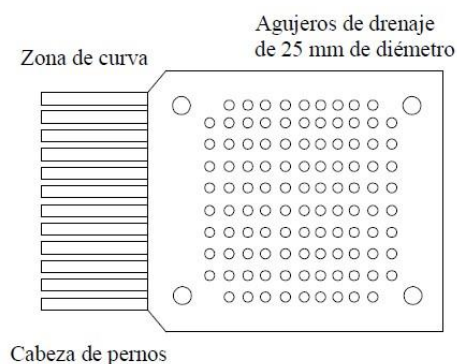
Fuente: Rojas R. 2010

Rejillas

Están formadas por barras metálicas verticales o inclinadas de sección, circular, rectangular o trapecial, espaciadas a intervalos iguales y colocadas transversalmente a la dirección del escurrimiento (Cortina C., Márquez R. 2008).

Rejillas de Limpieza Manual

Se usan en pequeñas instalaciones de tratamiento procediendo al sistema de bombeo. Actualmente son poco utilizadas en los pretratamientos (Cortina C., Márquez R. 2008). En la figura 1, se muestra una rejilla de tipo manual, así como las partes que la componen.



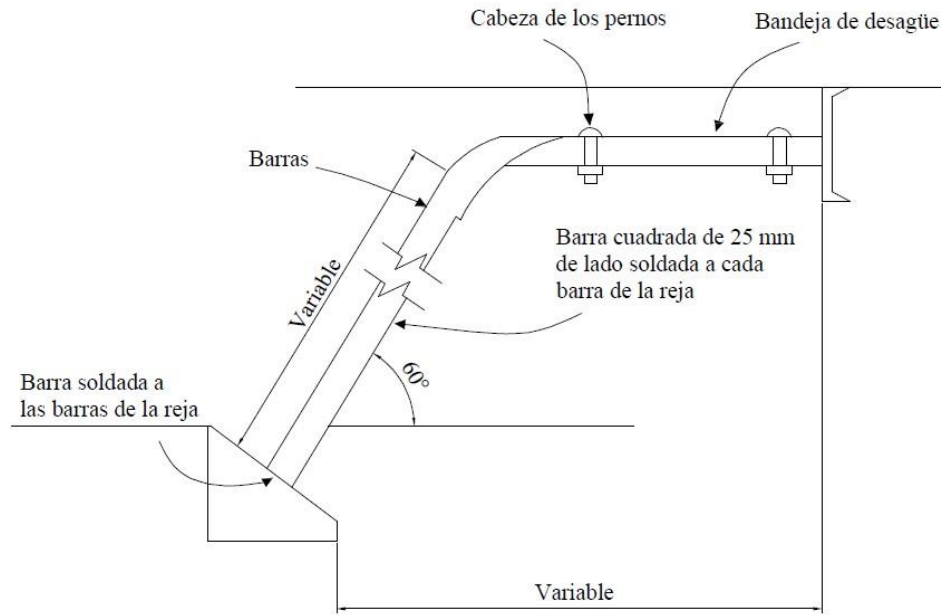


Figura 1. Rejilla de Limpieza Manual

Fuente: Cortina C., Márquez R. 2008.

Rejas de Limpieza Mecánica

Son rejas manufacturadas, su limpieza puede ser por la parte anterior o posterior de ella. Los rastrillos pueden estar montados en cadenas sin fin o accionados por medio de varillas con movimiento ascendente cuando la varilla desciende. Los sólidos recolectados en las rejas son triturados e incorporados al agua residual para su eliminación en los posteriores tratamientos o se comprimen con presas para incinerarse o enterrarse (Cortina C., Márquez R. 2008).

Tamices

Son rejillas con aberturas de 22-32mm, conocidas también como cribas. Pueden utilizarse en lugar de una sedimentación.

Desarenadores

Se emplean para separar materiales más pesados que la materia orgánica, protege a las bombas y otros equipos. En la siguiente imagen (Figura 2) se presenta el funcionamiento de un desarenador y la trayectoria que sigue la arena al entrar al tren de tratamiento y llegar a la cámara de sedimentación de arenas (Cortina C., Márquez R. 2008).

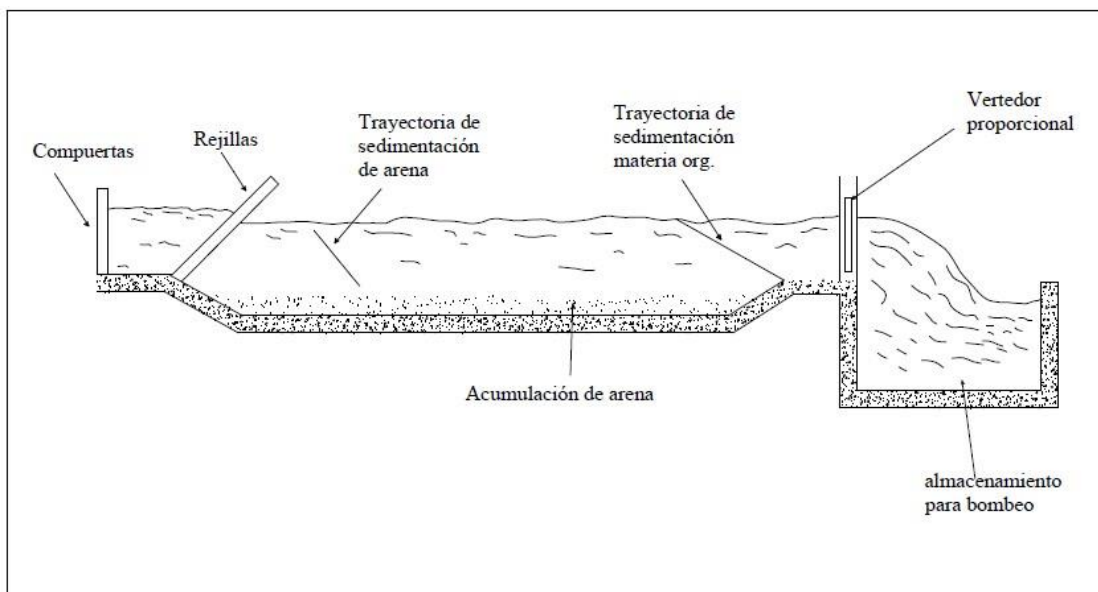


Figura 2. Cámara de un Desarenador.

Fuente: Cortina C., Márquez R. 2008

Normalmente los desarenadores se diseñan para la eliminación de partículas retenidas en malla (0.21mm). Son recomendables velocidades de 1.1 m/min para partículas de malla 65 y de 0.75 m/min para las de malla 100. Cabe aclarar que la velocidad de sedimentación está en función de la temperatura (Tabla 8).

Tabla 8. Velocidad en función de temperatura.

Temperatura °C	Velocidad cm/seg
0	1.4
10	2.1
20	2.7
30	3.2

Fuente: Cortina C., Márquez R. 2008

Homogenización

La homogenización es una operación unitaria que tiene como finalidad uniformar el flujo, la carga de contaminantes, y las condiciones fisicoquímicas de aguas residuales (Cortina C., Márquez R. 2008).

Esta operación se aplica cuando se tienen las siguientes situaciones:

- Para amortiguar variaciones de flujo de varias descargas, de manera que se tenga una corriente compuesta con un flujo relativamente constante en la planta de tratamiento.
- Cuando se tiene variaciones en la DBO de la descarga.
- Para propósitos de neutralización, incluyendo el mezclado de los desechos ácidos y alcalinos en el tanque.

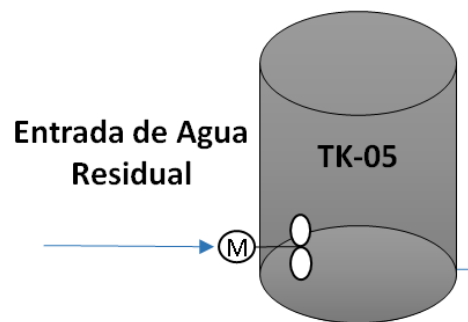


Figura 3. Tanque de Homogenización

Fuente: Autoría propia 2022

Neutralización

Las aguas residuales pueden ser alcalinas o ácidas, en este tipo de agua es importante efectuar una neutralización antes de pasar a los siguientes tratamientos, este proceso se puede aplicar en los siguientes casos:

- Antes de descargar las aguas residuales a los cuerpos de agua.
- Antes de descargar aguas residuales industriales al drenaje municipal.
- Antes de los tratamientos químicos y biológicos.

El método de neutralización de las aguas residuales más utilizado es el método directo para el control de pH: El cual se basa en la adición de ácidos o bases para neutralizar las descargas alcalinas o ácidas (Figura 4).

Algunos de los métodos más comunes empleados para la neutralización de los desechos ácidos son:

- Lechos de piedra caliza
- Lechada de cal.
- Uso de sosa caustica (NaOH).

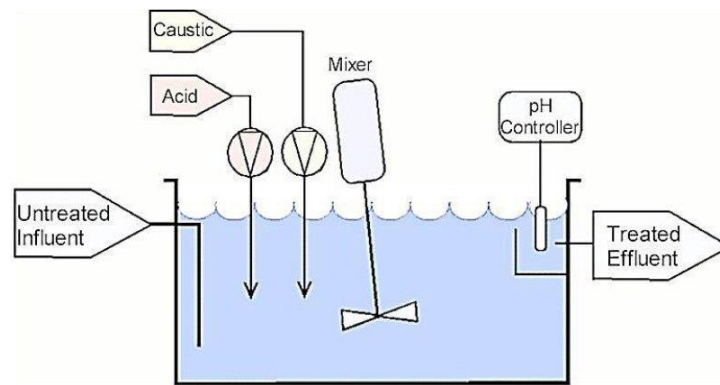


Figura 4. Método de Neutralización.
Fuente: Universidad Nacional a distancia.

Tratamiento primario

Tiene como objetivo la remoción por medios físicos o mecánicos de una parte sustancial del material sedimentable o flotante. Es decir, el tratamiento primario es capaz de remover no solamente la materia de grandes dimensiones, sino también una fracción importante de la carga orgánica y que puede representar entre el 25% y el 40% de la DBO y entre el 50% y el 65% de los sólidos suspendidos (Rojas R. 2010). Entre los tipos de tratamiento primario se citan:

Flotación por aire disuelto

La flotación por aire disuelto además de eliminar materia sólida y/o líquida de densidad inferior a la del agua, es capaz de eliminar sólidos de densidad superior. Todo flotador dispone de una purga de decantados, a través de la cual se eliminan las

partículas pesadas. El Proceso FAD (Flotación por Aire Disuelto) consiste en la creación de microburbujas de aire en el seno del agua residual, las cuales se unen a las partículas a eliminar formando agregados capaces de flotar por tener una densidad inferior a la del agua (Figura 5). Por tanto, se puede decir que el objetivo de este proceso en el tratamiento primario es doble, reducción de materias flotantes y reducción de SS.

La Creación de microburbujas en el proceso se realiza a través de los siguientes pasos:

- Presurización de un flujo de agua.
- Disolución de aire en dicho flujo sobresaturándolo.
- Despresurización a presión atmosférica, con lo que el exceso disuelto por encima del de saturación se libera en forma de microburbujas.

Tipos de Flotadores Al igual que los Decantadores por su forma pueden ser:

- Flotador Circular
- Flotador rectangular.

Por proceso, estos pueden ser:

- FAD T: Se sobresatura el caudal total.
- FAD P: Se sobresatura parte de del caudal

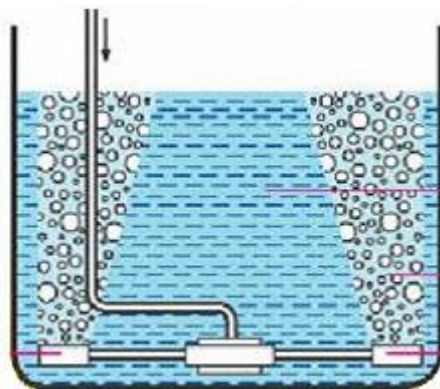


Figura 5. Método de Flotación por aire disuelto

Fuente: Universidad Nacional a distancia

Filtración

Se entiende por filtración al proceso de eliminación de materia suspendida en el agua mediante su paso a través de un material poroso que puede estar contenido en un filtro. La materia en suspensión (sólidos suspendidos) está compuesta principalmente por partículas o gránulos de tierra, arena y sedimentos, pero también incluyen organismos como algas, bacterias, virus y protozoarios (Ramírez, 2008).

Filtros multicapas

Tienen la finalidad de remover sólidos suspendidos en el agua de tamaños de hasta 10 micrómetros, lo que quiere decir que todo sólido en suspensión mayor a 10 micrómetros quedará retenido en el filtro para después ser desechados y de esta forma no permitir que los sólidos pasen a la siguiente etapa del proceso. La filtración se lleva a cabo por una diferencia de presión que hace necesario el uso de un equipo de bombeo o hidroneumático, dicha función tiene como beneficio que el agua tratada quede parcialmente libre de sólidos en suspensión, los cuales afectan la calidad de agua de reutilización y del proceso de tratamiento.

El proceso de filtración es del tipo profundo, en donde la capa superior de material filtrante es la de mayor tamaño de fragmentos, después el agua pasa a una capa de menor tamaño de fragmentos y por último pasa por una capa fina de fragmentos que hacen la filtración final de 10 micrómetros (Ramírez, 2008).

Filtros con adsorción en carbón activado

La función del filtro de carbón activado es la de remover contaminantes, como son olor y sabor, del agua por medio de adsorción. La adsorción es el proceso por el cual las impurezas se adhieren a la superficie del carbón activado. La adherencia es gobernada por una atracción electroquímica.

El carbón activado es preparado a partir de diversos materiales, tales como carbón, madera, cáscara de nueces y petróleo. El carbón se transforma en activado cuando es calentado a altas temperaturas (800°C-1000 °C) en la ausencia de oxígeno. El resultado es la creación de millones de poros microscópicos en la superficie del carbón.

El proceso de adsorción trabaja como un imán para mantener las impurezas en la superficie del carbón activado. Esto es una acción diferente de aquella que actúa como una esponja en el proceso de absorción, en el cual un gas o líquido es succionado hasta el centro del cuerpo poroso y allí mantenido. El carbón activado también es conocido por su extraordinaria habilidad en eliminar el cloro, olor, y por la reducción química para una forma no detectable por los sentidos, como es el caso de los cloruros. De la misma manera el carbón remueve los compuestos orgánicos volátiles (VOC), pesticidas, herbicidas, compuestos con tricalometano, radón y solventes (Ramírez, 2008).

Sedimentación

La sedimentación es la separación de partículas suspendidas más pesadas que el agua mediante la acción de la gravedad, así como se muestra en la figura 6. El proceso de la sedimentación se basa en la diferencia de gravedad específica entre el material sedimentable y el agua.

Cuando en un agua residual los sólidos suspendidos y sedimentados, se separan mediante la acción de la gravedad y la agregación natural de las partículas, la operación recibe el nombre de sedimentación simple. Si se agregan productos químicos o de otra naturaleza para provocar o favorecer la agregación y asentamiento de la materia finalmente dividida y sustancias coloidales, la operación recibe el nombre de coagulación (Cortina C., Márquez R. 2008).

La sedimentación debe ser considerada en el tratamiento de los residuos industriales sólo cuando éstos están combinados con descargas domésticas, o contienen un alto porcentaje de sólidos suspendidos sedimentables como en el caso de los residuos de la industria del papel, envasado de alimentos, lavado de cartón, etc.

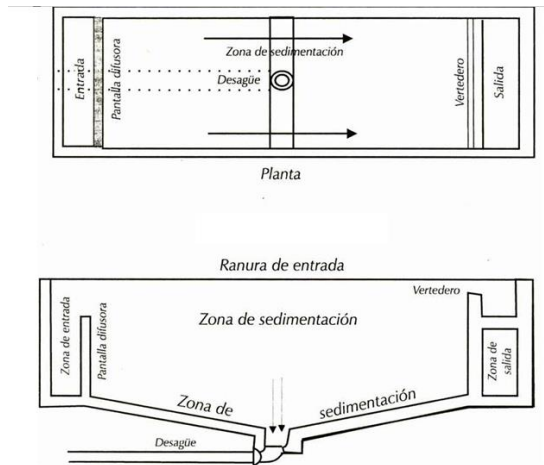


Figura 6. Sedimentador

Fuente: Araujo F. 2013

Operación y mantenimiento de plantas de potabilización de agua

La sedimentación se realiza en tanques de diversas formas y diseños, los cuales de acuerdo a su diseño y operación se pueden clasificar en:

- Tanques Sépticos
- Tanques de dos pisos
- Tanques de sedimentación simple con eliminación mecánica de lodos.
- Clarificadores secundarios con eliminación mecánica de lodos.

Los tanques sépticos y los tanques de dos pisos son utilizados como tratamiento único de las aguas residuales municipales en los cuales los sólidos se sedimentan y son degradados en el mismo sistema por vía biológica. En la siguiente imagen (Figura 7) se muestra un tanque séptico y el proceso que ocurre de sedimentación y digestión dentro del mismo.

Los tanques de sedimentación simple son los que comúnmente se conocen como sedimentadores primarios o clarificadores primarios, los cuales son utilizados en el tratamiento primario de las aguas residuales, mientras que los clarificadores secundarios son sistemas utilizados en el tratamiento secundario químico para la eliminación de los flóculos formados (Cortina C., Márquez R. 2008).

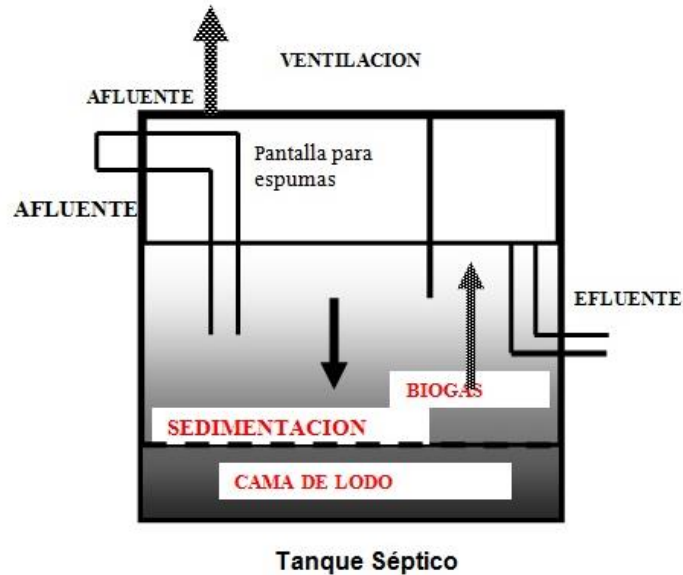


Figura 7. Tanque Séptico
Fuente: Araujo F. 2013

Floculación

La floculación, pretende unificar los coágulos formados en grandes partículas. Para ello, se introduce un agente floculante y se somete el agua a tratar a una agitación muy lenta, que asegure la mezcla de los reactivos a la vez que no rompe los flóculos formados. Los floculantes empleados pueden ser minerales, como, por ejemplo, la sílice activada, u orgánicos, caracterizados ambos por ser macromoléculas de cadena larga y alto peso molecular. Los de origen sintético se obtienen a partir de monómeros simples sintéticos y, los naturales, de menor eficacia, se obtienen a partir de extractos de algas, almidones y derivados de la celulosa. Los más empleados son los minerales, también denominados polielectrolitos por sus cargas eléctricas. Según su naturaleza será no iónicos, aniónicos o catiónicos y su elección dependerá siempre de ensayos de laboratorio. Los floculantes minerales actúan de forma similar a los coagulantes; rebajando la carga de las partículas para desestabilizarlas y unir las, o mediante la formación de puentes entre las partículas para crear un gran polímero que decanta por aumento de densidad. Todo este proceso se estimula por una correcta floculación, una agitación lenta y temperaturas ambientales medias o altas. En la práctica, estos procesos se realizan habitualmente en cámaras separadas. La adición de coagulantes se efectúa en un mezclador rápido o coagulador dotado de hélice o

turbina con unos tiempos de retención de 20 segundos a 5 minutos. La floculación puede tener lugar en un floculador provisto de un sistema de agitación lenta o en el interior de un decantador, en el que, finalmente, se recogen en su fondo troncocónico los fangos decantados mediante un sistema de rasquetas y bomba de fangos. El agua clarificada se elimina por la parte superior del decantador y se conduce al siguiente paso en su depuración; el tratamiento secundario o biológico. Para pequeñas depuradoras, existe la posibilidad de realizar todo el proceso en un mismo decantador separado anularmente en tres zonas, además de contar con un sistema de recirculación de fangos para mejorar el crecimiento de las partículas y facilitar su sedimentación. En la actualidad la práctica totalidad de las depuradoras de aguas residuales emplean estos sistemas de tratamiento, existiendo una serie de diseños de cámaras de mezcla y decantadores bastante estandarizados. Las mayores diferencias entre equipos se encuentran entre los compactos, que realizan todas las funciones en una misma cámara y, en los tratamientos de aguas más específicas, como, por ejemplo, las aguas residuales industriales.

Coagulante

El proceso de coagulación se basa en añadir al agua un electrolito, llamado coagulante, el cual es habitualmente una sal de hierro o aluminio. Su forma de actuación es la liberación de iones positivos capaces de atraer a las partículas coloidales y neutralizar su carga o, mediante la formación de productos de baja solubilidad que precipitan arrastrando los coloides. La optimización del proceso de coagulación depende de tres factores determinantes; pH, agitación y tipo de coagulante. EL pH es un factor crítico en el proceso de coagulación. Para cada electrolito existe un margen de trabajo, fuera del cual se desaprovecha el producto y disminuye el rendimiento del proceso. Para la corrección de los márgenes de trabajo, es posible la adición de coadyuvantes, como por ejemplo cal viva o apagada, carbonato sódico, sosa caustica o ácidos minerales. Por otro lado, la agitación de la mezcla permitirá una distribución homogénea de los reactivos antes de que comience a formarse el coágulo. Teniendo en cuenta que el tiempo de coagulación es muy corto, esta mezcla debe realizarse en el menor tiempo posible mediante la aplicación de agitación mecánica.

La coagulación en el proceso de tratamiento del agua tiene por objeto preparar a las partículas dispersas en el agua (mediante la anulación de las cargas superficiales) para lograr posteriormente, mediante la floculación, otras partículas más voluminosas y pesadas que puedan ser separadas más fácilmente del agua (Figura 8).



Figura 8. Coagulación- Floculación

Fuente: Araujo F. 2013

Tratamiento Secundario

La reducción de los compuestos orgánicos presente en el agua residual, acondicionada previamente mediante tratamiento primario, se realiza exclusivamente por procesos biológicos. Este proceso reduce o convierte la materia orgánica finamente dividida y/o disuelta, en sólidos sedimentables floculantes que puedan ser separados por sedimentación en tanques de decantación. Los procesos biológicos más utilizados son los lodos activados y filtros percoladores. Son muchas las modificaciones de estos procesos que se utilizan para hacer frente a los requerimientos específicos de cada tratamiento. Asimismo, dentro de este grupo se incluyen a las lagunas de estabilización y airadas, así como el tratamiento biológico empleando oxígeno puro y el tratamiento anaeróbico. Los tratamientos biológicos de esta categoría tienen una eficiencia de remoción de la DBO entre el 85% al 95% (Rojas R. 2010).

En el tratamiento secundario se emplean reactores biológicos de dos tipos: Anaerobios y Aerobios (Con presencia de oxígeno).

A continuación, se mencionan algunos biorreactores.

Biorreactores Anaerobios:

La digestión anaerobia es un proceso microbiológico complejo que se realiza en ausencia de oxígeno, donde la materia orgánica se transforma a biomasa y compuestos orgánicos, la mayoría de ellos volátiles.

Los procesos anaerobios son atractivos, especialmente para las aguas residuales con altas concentraciones de materia orgánica y a temperaturas cálidas debido a que no requieren de aireación, por lo que se tiene un ahorro en energía además de producir pocos lodos de desecho. Otras consideraciones que se pueden aplicar para las distintas fuentes de agua residual son la presencia de sustancias potencialmente tóxicas, variaciones de caudal, concentraciones de inorgánicos y variaciones estacionales de carga. Los procesos anaerobios son capaces de responder rápidamente a la alimentación de agua residual después de largos períodos sin adición de sustrato (Márquez M., Martínez S. 2011).

Reactor de contacto:

Se trata de un reactor de mezcla completa y un posterior decantador para separar sólidos de líquidos, lo que permite reciclado de parte de la biomasa, así como se muestra en la figura 9. Fue desarrollado para tratar aguas residuales con tiempos de retención cortos y edades de lodos prolongadas. Su uso principal es en aguas residuales industriales. Estas a diferencia de las urbanas, no contienen generalmente una alta proporción de microorganismos.

Parte del lodo digerido y sedimentado se recircula al digestor, donde se mezcla con el influente no digerido. La re-inoculación de una biomasa bien aclimatada permite mantener óptimas condiciones de funcionamiento del proceso. En este proceso la operación esencial es la separación de sólido/líquido, lo cual ofrece serios problemas, dadas las características de este tipo de lodos, y el continuo desprendimiento de burbujas de gas que dificulta enormemente el proceso de separación, por lo que hay que recurrir previamente a sistemas de desgasificación. El uso de la técnica de stripping o el enfriamiento del influente digerido en su camino hacia el clarificador puede disminuir este problema. Una reducción en la temperatura de 35 a 15 °C detiene la producción de gas en el clarificador y favorece la floculación de los

sólidos. Esto último también puede conseguirse mediante el uso de coagulantes, tales como el hidróxido sódico seguido de cloruro férrico. También se utilizan membranas de ultrafiltración para conseguir una alta retención celular. Los parámetros típicos de operación de este proceso son:

- Densidad de carga orgánica (Kg DQO/m³/d): 2 - 10.
- Concentración en el interior (g SSV/l): 5 - 10.
- Concentración en el efluente (g SS/l): 0,5 - 20.
- Tiempo de retención hidráulico (d): 1 - 5.
- Tiempo de arranque (d): 20 - 60.

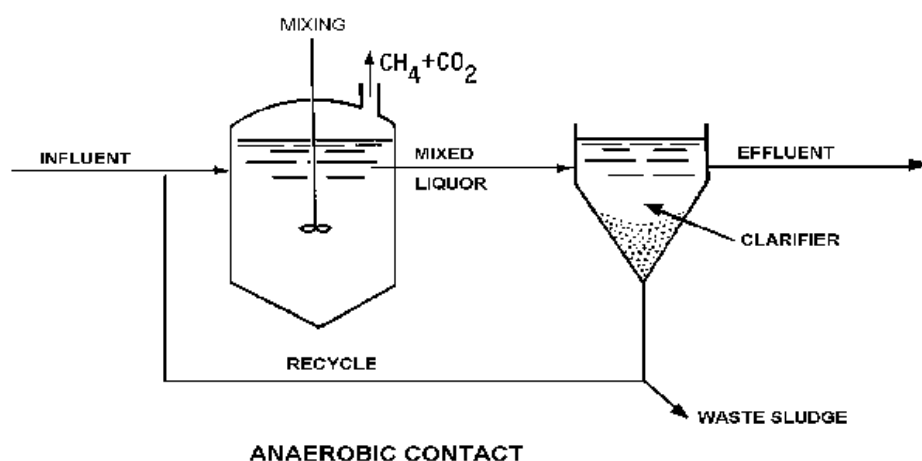


Figura 9. Reactor de contacto

Fuente: Thomas Irwin, M.S. Environmental Scientist/Rutgers 2013

Reactor anaerobio de flujo ascendente con lecho

La abreviación U.A.S.B. se define como Upflow Anaerobic Sludge Blankett o Reactor Anaerobio de Manto de Lodos de Flujo Ascendente. La innovación técnica de este tipo de reactores reside en un dispositivo situado en la parte superior del reactor (separador de tres fases- GSS) que permite separar internamente la biomasa, el efluente tratado y el biogás. Con ello se consigue acumular grandes cantidades de biomasa muy activa que adopta la estructura de gránulos compactos con una elevada capacidad de sedimentación. Es el más extendido a escala industrial (Márquez M., Martínez S. 2011). En la figura 10, se muestra una imagen de un reactor anaerobio de

flujo ascendente con lecho en donde se indica cada una de sus partes como el deflector de gases, el manto de lodos, capa de lodos, efluente, afluente y salida del gas.

La operación de los reactores UASB se basa en la actividad autorregulada de diferentes grupos de bacterias que degradan la materia orgánica y se desarrollan en forma interactiva, formando un lodo biológicamente activo en el reactor. Dichos grupos bacterianos establecen entre sí relaciones simbióticas de alta eficiencia metabólica bajo la forma de gránulos cuya densidad les permite sedimentar en el digestor. La biomasa permanece en el reactor sin necesidad de soporte adicional.

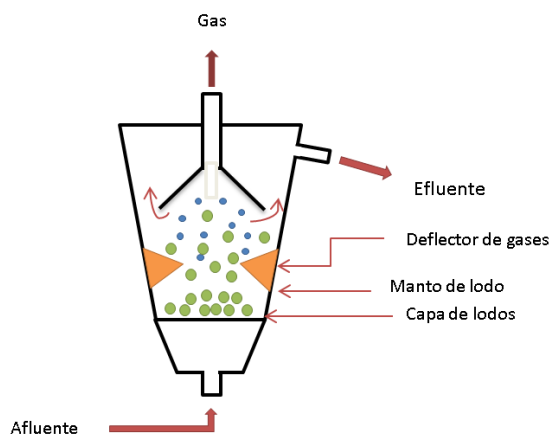


Figura 10. Reactor anaerobio de flujo ascendente con lecho

Fuente: Autoría propia 2022

Reactores Anaerobio por lotes secuenciales ASBR

Los reactores ASBR (Anaerobic sequencing batch reactor) como su nombre lo indica, funcionan mediante lotes secuenciales y han sido estudiados como una alternativa de tratamiento a los sistemas continuos debido a la versatilidad de su operación. Están constituidos por 4 etapas: Alimentación (1), Reacción (2), Sedimentación (4) y Descarga (5), así como se señala a continuación (Figura 11).

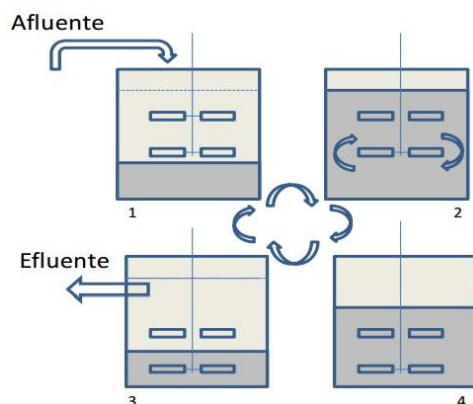


Figura 11. Etapas de Operación Reactor ASBR

Fuente: Rosenkranz F. 2013

Reactor Anaeróbico con Deflectores

Un Reactor Anaeróbico con Deflectores (ABR, del inglés Anaerobic Baffled Reactor) es una fosa séptica mejorada debido a la serie de deflectores por debajo de los cuales se fuerza el flujo de las aguas residuales (Figura 11). El mayor tiempo de contacto con la biomasa activa (lodos) resulta en un tratamiento mejorado. La mayoría de los sólidos de sedimentación son eliminados en la cámara de sedimentación en el inicio del ABR, que normalmente representa el 50% del volumen total. Las cámaras de flujo ascendente proporcionan eliminación adicional y digestión de la materia orgánica: la DBO puede reducirse hasta un 90%, lo cual es muy superior a la fosa séptica convencional. Al irse acumulando los lodos, se requiere el desazolve cada 2 o 3 años. Los parámetros críticos de diseño incluyen un tiempo de retención hidráulico (TRH) entre 48 y 72 horas, velocidad de flujo ascendente de las aguas residuales de menos de 0.6 m/h y el número de cámaras de flujo ascendente (2 a 3). Se puede diseñar un ABR para una sola vivienda o para un grupo de viviendas que usan una considerable cantidad de agua para lavado de ropa, baño y retretes de tanque. Es más adecuado si el uso de agua y el suministro de aguas residuales son relativamente constantes. Esta tecnología es también apropiada para áreas donde el terreno puede estar limitado ya que el tanque es instalado bajo tierra y requiere poca área. No se debe instalar donde haya un alto nivel freático ya que la infiltración puede afectar la eficiencia del tratamiento y contaminar los acuíferos (Tilley E., Luthi C., Zurbrugg C y Schertenleib R. 2011).

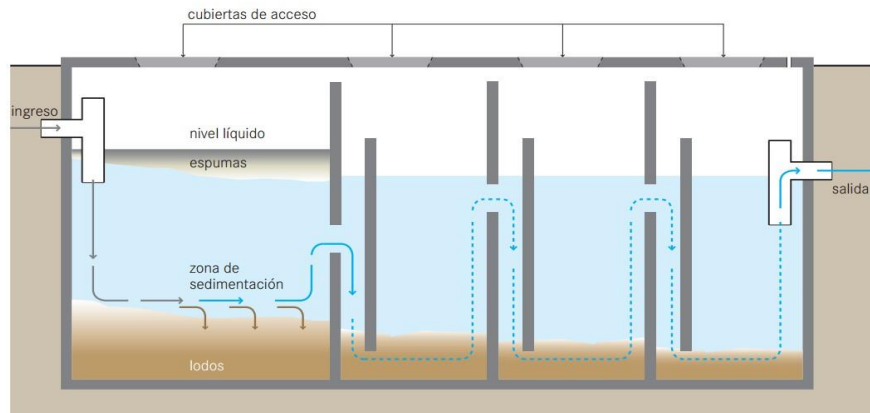


Figura 12. Reactor Anaerobio con deflectores

Fuente: Tilley E., Luthi C., Zurbrugg C y Schertenleib R. 2011

Filtro Anaeróbico

Un Filtro Anaeróbico es un reactor biológico de cama fija. Al fluir las aguas residuales por el filtro, se atrapan las partículas y se degrada la materia orgánica por la biomasa que está adherida al material del filtro como se observa en la figura 13. Esta tecnología consiste en un tanque de sedimentación (o fosa séptica) seguido de una o más cámaras de filtración. Los materiales comúnmente usados para el filtro incluyen grava, piedras quebradas, carboncillo, o piezas de plástico formadas especialmente. El tamaño típico de los materiales del filtro varía entre 12 y 55 mm de diámetro. Idealmente, el material proporcionará entre 90m² y 300 m² de superficie por 1 m³ de volumen del reactor. Al proporcionar una gran superficie para la masa bacteriana, hay un mayor contacto entre la materia orgánica y la biomasa activa que la degrada efectivamente. El Filtro Anaeróbico puede ser operado ya sea con flujo ascendente o descendente. Se recomienda el modo de flujo ascendente porque hay un menor riesgo de que la biomasa fijada sea arrastrada. El nivel de agua debe cubrir el material del filtro por lo menos 0.3 m para garantizar un régimen de flujo regular. Los estudios han demostrado que el TRH es el parámetro de diseño más importante que afecta el desempeño del filtro. Lo normal y recomendable es un TRH de entre 0.5 y 1.5 días. Se ha demostrado que lo adecuado es una tasa de carga superficial máxima (p.ej. flujo por área) de 2.8 m/d. La eliminación de sólidos suspendidos y de DBO puede llegar entre 85% a 90% pero normalmente está dentro de 50% y 80%. La

eliminación de Nitrógeno es limitada y no excede del 50% en lo que se refiere a nitrógeno total (NT). (Tilley E., Luthi C., Zurbrugg C y Schertenleib R. 2011).

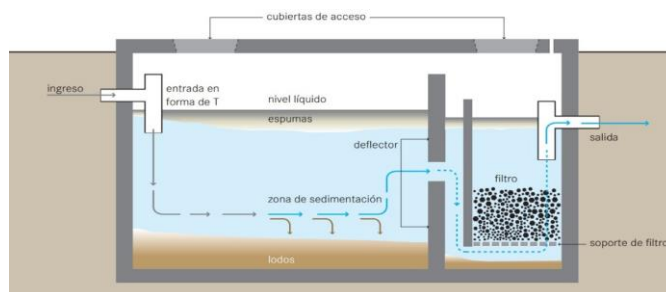


Figura 13. Sistema de un Filtro Anaerobio

Fuente: Tilley E., Luthi C., Zurbrugg C y Schertenleib R. 2011

Contactores Biológicos rotativos anaerobios (anrbc)

La biomasa bacteriana se encuentra soportada sobre un material inerte, configurado a modo de discos paralelos (biodiscos), de jaulas cilíndricas rellenas de diversos materiales (biocilindros), o tambores recorridos internamente por canales (biorrotors). Estos dispositivos se encuentran total o casi totalmente sumergidos, rotando continuamente sobre un eje horizontal, en un tanque cerrado a través del cual fluye el agua residual. La rotación continuada permite la mezcla dentro del tanque y facilita la transferencia del biogás producido a la zona superior del tanque. La velocidad de rotación ejerce cierto control sobre el grosor de la biopelícula, y suele ser entre 1 y 7 rpm, producida por un mecanismo mecánico o un soplante. Cuando el espesor de la biopelícula alcanza un determinado grosor, los organismos más en el interior en contacto con el soporte, mueren por falta de nutrientes y las fuerzas hidráulicas que ejerce el flujo de influente y la rotación desprenden la biopelícula. Esta materia orgánica es arrastrada por el agua y separada mediante sedimentación por un separador sólido/líquido.

El sistema de oxidación biológica aprovecha uno o más discos rotativos para la eliminación de las aguas residuales. Cada rodillo se compone de un árbol en el cual se insertan discos de Polipropileno de número variable dependiendo del modelo. Mediante un moto reductor, el árbol gira muy lentamente (1-5 Revoluciones al

minuto, dependiendo del modelo y de las características de las aguas residuales). Los discos se sumergen parcialmente (aprox. el 40% de su diámetro) en una cuba por la que pasan las aguas residuales a depurar. El contacto entre aguas residuales y discos favorece la formación de flora bacteriana sobre éstos últimos (Chávez J. 2010).

En la figura de abajo (figura 14) se muestra un pequeño tren de tratamiento comenzando con el tratamiento primario, se prosigue con las unidades CBR (Biodiscos), se continua en un clarificador secundario y por último se descarga el agua depurada. Cabe mencionar que en este proceso se realiza la eliminación de lodos.

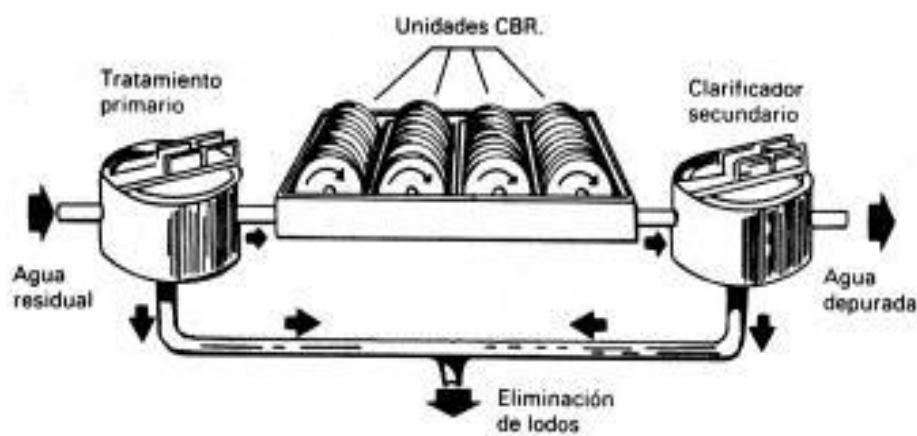


Figura 14. Contactores biológicos rotativos

Fuente: Tilley E., Luthi C., Zurbrugg C y Schertenleib R. 2011.

Reactores de contacto con soporte (CASBER).

Estos reactores son, en esencia, idénticos a los sistemas de contacto, pero con la incorporación de un medio inerte en el reactor. La cantidad de material soporte es pequeña, sus dimensiones también lo son y tienen baja velocidad de sedimentación. En este caso, la adición de material de soporte es extremadamente limitada en comparación con la cantidad usada comúnmente en, por ejemplo, los reactores de lecho fluidizado.

Las partículas utilizadas suelen tener un diámetro entre 5 y 25 mm, tienen una baja velocidad de sedimentación y, por lo tanto, pueden mantenerse en suspensión con un

bajo grado de agitación. Un pequeño porcentaje de bacterias es soportado en estas partículas, que pueden ser arenas, plásticos, etc., mientras que un porcentaje sustancial de la biomasa activa permanece como flóculos en suspensión (Márquez M., Martínez S. 2011).

Reactores de lecho fluido y lecho expandido (FB/EB).

Técnicamente, un reactor FEB es una estructura cilíndrica, empaquetada hasta un 10% del volumen del reactor con un soporte inerte de pequeño tamaño lo que permite la acumulación de elevadas concentraciones de biomasa que forman películas alrededor de dichas partículas (Figura 15). La expansión del lecho tiene lugar gracias al flujo vertical generado por un elevado grado de recirculación. La velocidad ascensional es tal que el lecho se expande hasta un punto en el que la fuerza gravitacional de descenso es igual a la de fricción por arrastre (Márquez M., Martínez S. 2011).

Los reactores de lecho fluidizado están constituidos por un lecho de partículas de pequeño tamaño (0.2 - 2.0 mm de diámetro) generalmente arena el cual se halla empacado dentro de una columna a través de la cual el líquido pasa en forma ascendente. El líquido fluye con una velocidad suficiente para mantener las partículas en constante movimiento, pero ajustada para evitar que salga en el efluente. La expansión del lecho está controlada por la velocidad del flujo y la cantidad de efluente recirculado. Las partículas del lecho son el soporte de los microorganismos, suministrando una gran área superficial ($3.000 \text{ m}^2/\text{m}^3$ para lecho de arena) al desarrollo de una película con alta concentración de biomasa. Su grosor está controlado por la capacidad de regeneración del lecho, el tamaño y densidad del medio y la velocidad de flujo vertical. Todas esas experiencias han mostrado a este sistema como una buena alternativa de tratamiento tanto para residuos con alta carga orgánica como para residuos diluidos o aguas residuales domésticas (Díaz M. 2010).

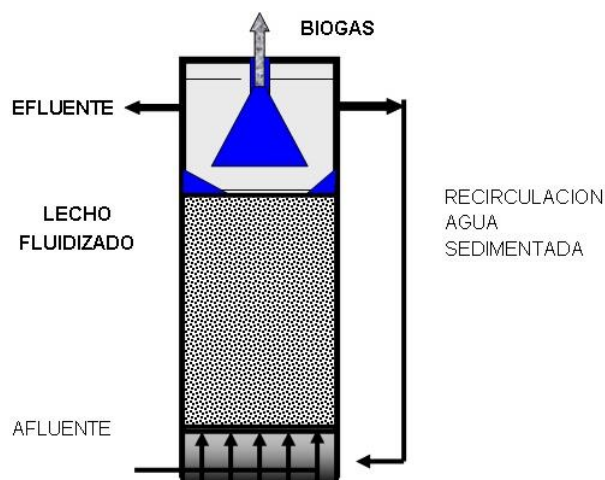


Figura 15. Reactor de lecho fluido

Fuente: Díaz M. 2010

Reactor Lecho Empacado o Fijo

Consisten en un tubo generalmente vertical, relleno o empacado con partículas de catalizador. El medio de cultivo puede alimentarse por la parte superior o inferior de la columna y forma una fase líquida continua entre partículas. Se utilizan con biocatalizadores inmovilizados o en forma de partículas.

Una ventaja que se tiene al utilizar este tipo de reactor es que el daño debido al desgaste de las partículas es mínimo en comparación con los reactores agitados. Comúnmente se emplea a nivel comercial con células y enzimas inmovilizadas para la producción de aspartato y fumarato y en la separación de isómeros de aminoácidos.

Biorreactores Aerobios

Tratamiento Aerobio

La digestión aeróbica representa un tratamiento biológico de las aguas residuales. Tras la remoción de sedimentos y sustancias del agua residual, como por ejemplo el aceite, durante la etapa primaria del tratamiento, los tratamientos aeróbicos se utilizan para descomponer la materia orgánica mediante la utilización de oxígeno.

Los procesos biológicos aeróbicos utilizan colonias microbianas y oxígeno molecular para descomponer las sustancias orgánicas presentes en las aguas residuales. Los microbios se alimentan de sustancias biológicas indeseadas en el agua generando agregados o “flóculos” de sustancias orgánicas y microorganismos que se depositan en la base del contenedor. Este lodo es estable y puede eliminarse fácilmente (Figura 16).

Generalmente, el tratamiento aeróbico forma parte de un proceso de tratamiento del agua que consta de múltiples etapas. Esta tecnología no se limita únicamente a su uso en la etapa intermedia del proceso; también se la puede utilizar para lograr agua con calidad final y favorecer otros tipos de tratamientos (RWL Water, 2015).



Figura 16. Fangos Activos

Fuente: RWL Water, 2015

Lodos Activos

La digestión aerobia se usa típicamente en plantas de tratamiento con capacidades menores a 220 l/s. Este tipo de estabilización, aunque tiene un menor costo de construcción que la digestión anaerobia, presenta la desventaja de que el costo de operación es más elevado, ya que requiere suministro de aire para estabilizar los lodos (Limón J. 2013).

Este método consiste en que, por medio de un cultivo suspendido, el residuo se estabiliza biológicamente en un reactor bajo condiciones aeróbicas. Durante el crecimiento y mezcla los organismos flocculan formando una masa activa denominada lodos activados. El ambiente aeróbico se logra mediante el uso de aireación por medio de difusores o sistemas mecánicos. En la figura 17 se muestra un tratamiento aerobio de lodos activados, teniendo una recirculación de lodos en el clarificador y pasando nuevamente a la aireación.

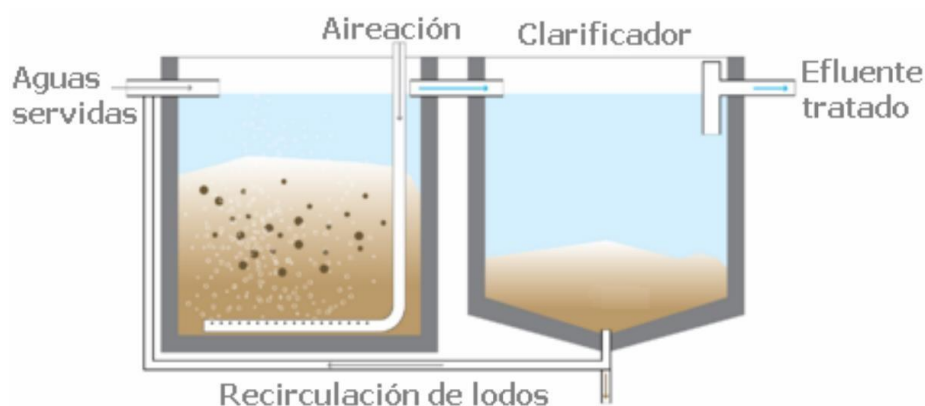


Figura 17. Tratamiento aerobio de Lodos Activados

Fuente: Limón J. 2013

Filtro Percolador

Un filtro percolador es una cama de grava o un medio plástico sobre el cual se rocían las aguas negras pretratadas. En este sistema de filtro percolador, los microorganismos se apegan al medio del lecho y forman una capa biológica sobre éste. A medida que las aguas negras se percolan por el medio, los microorganismos digieren y eliminan los contaminantes del agua.

Las aguas negras que se dosifican a un filtro percolador deben recibir pretratamiento, tal como el que se da en un tanque séptico. Los sólidos y las grasas deben eliminarse antes de rociar las aguas negras sobre el filtro percolador. Si no se sacan estos materiales, pueden cubrir la capa fina de microorganismos que crecen en el medio y matarlos. Un filtro percolador puede reducir: La demanda bioquímica de oxígeno (DBO_5), que es la medición de la cantidad del oxígeno disuelto que necesitan los microorganismos para descomponer la materia orgánica. El nivel alto de DBO_5 por lo

general indica agua de mala calidad; un nivel bajo de DBO_5 normalmente indica agua de buena calidad. El sacar los sólidos disueltos de las aguas negras permite bajar el nivel de DBO_5 .

Los microorganismos sacan los nutrientes y materiales disueltos de las aguas negras, almacenándolos como alimento. A medida que crece la materia biológica, se vuelve demasiado grande para permanecer atada al medio y se suelta. Esta es transportada con el agua de regreso hacia el tanque de dosificación/clarificador. Allí se acumula en el fondo, formando una capa de lodo. En algunos sistemas, una bomba de lodo manda este material al tanque séptico donde se puede descomponer más (Agricultural Communications, el Sistema Universitario Texas A&M. 2012).

En la figura 18 se describe un filtro percolador en donde el numero 1 es el agua que va entrando, el numero 2 es el sistema de aireación por convección natural, el numero de 3 la salida del agua depurada, el numero 4 es el material portador, el numero 5 es la biopelícula y el numero 6 nos indica el distribuidor del agua.

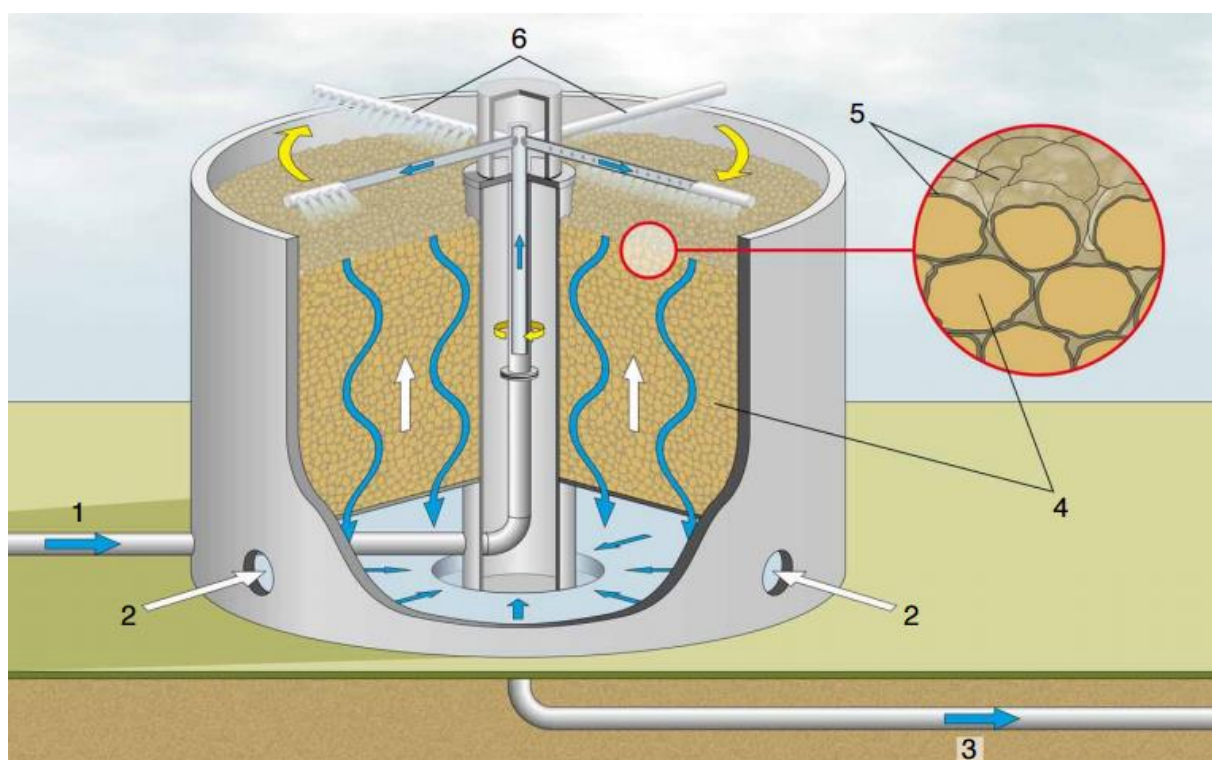


Figura 18. Filtro Percolador

Fuente: Agricultura Comunicaciones, el Sistema Universitario Texas A&M 2012.

Biodiscos

Los reactores con biodiscos son otro tipo de alternativa para el tratamiento de aguas residuales. A diferencia del sistema de lodos activados, en este, los microorganismos no se encuentran suspendidos en el líquido, sino que se encuentran fijos en ambas caras de un soporte (biodiscos), conformado por materiales sintéticos tales como el poliestireno y el polietileno.

Durante la rotación del biodisco, se lleva a cabo la difusión de contaminantes del líquido hacia la película de microorganismos, en la parte sumergida. En la parte que queda expuesta al ambiente, se produce la difusión del oxígeno del ambiente hacia la parte interior de la película biológica para la oxidación de contaminantes (Figura 19). A medida que va creciendo la película biológica, los microorganismos que están más cercanos al soporte tienen mayor dificultad en alcanzar los nutrientes y el oxígeno, lo que provoca su muerte o anaerobiosis. Esto produce que algunas partes de la película de microorganismos caigan, por lo que debe ser instalado un sedimentador secundario a la salida de reactor de biodiscos. Hay que recalcar que este lodo biológico tiene buenas propiedades de sedimentación por lo que pocas veces presenta problemas sobre ese particular.

Algunas ventajas de este tipo de sistemas es que tienen un bajo consumo de energía debido a que no es necesaria la aireación, no requieren de reciclado de lodos biológicos, el lodo producido tiene buenas propiedades de sedimentación, es versátil ya que es posible realizar diferentes tipos de reducción de contaminantes. Sin embargo, si presenta ciertas desventajas debido a que, a bajas temperaturas, se reduce la eficiencia de remoción de contaminantes (Martínez S. y Rodríguez M. 2010).

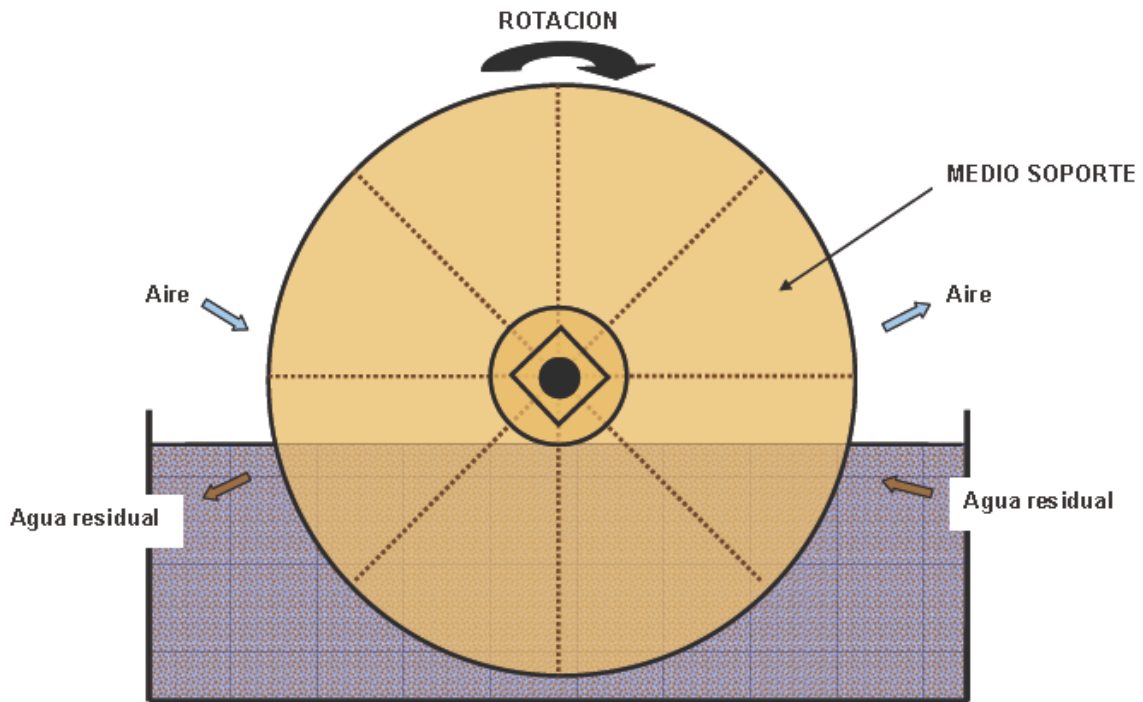


Figura 19. Biodiscos aerobios

Fuente: Martínez S. y Rodríguez M. 2010

Filtros Aireados

Los filtros aireados o anóxicos biológicos, combina la filtración con reducción biológica de carbono, nitrificación o desnitrificación. Incluye usualmente un reactor lleno de medios de un filtro. Los medios están en la suspensión o apoyados por una capa en el pie de un filtro. El propósito doble de este medio es soportar altamente la biomasa activa que se une a él y a los sólidos suspendidos en el filtro. La reducción del carbón y la conversión del amoníaco ocurren en medio aerobio.

Tratamiento Terciario

El tratamiento terciario es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario.

Existen diferentes tipos de tratamiento que engloban al terciario.

- a) Separación de sólidos en suspensión
- b) Adsorción en carbón activado
- c) Osmosis inversa
- d) Oxidación química

Eliminación de Sólidos en suspensión

Los sólidos en suspensión que no han sido eliminados en las operaciones convencionales de tratamiento primario y secundario pueden constituir una parte importante de la DBO de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales.

Se dispone de los siguientes procesos para la eliminación de estos sólidos en suspensión:

- 1) Micro-tamizado
- 2) Filtración
- 3) Coagulación

Con el micro-tamizado se consigue eliminaciones del 70 - 90% de los sólidos en suspensión. Se utiliza normalmente la filtración para conseguir rendimientos en la eliminación de sólidos en suspensión hasta del 99%. Los materiales de relleno de los filtros más empleados son arena, antracita y tierra de diatomeas. La coagulación se lleva a cabo utilizando sulfato de alúmina polielectrolitos, cal y otros reactivos químicos.

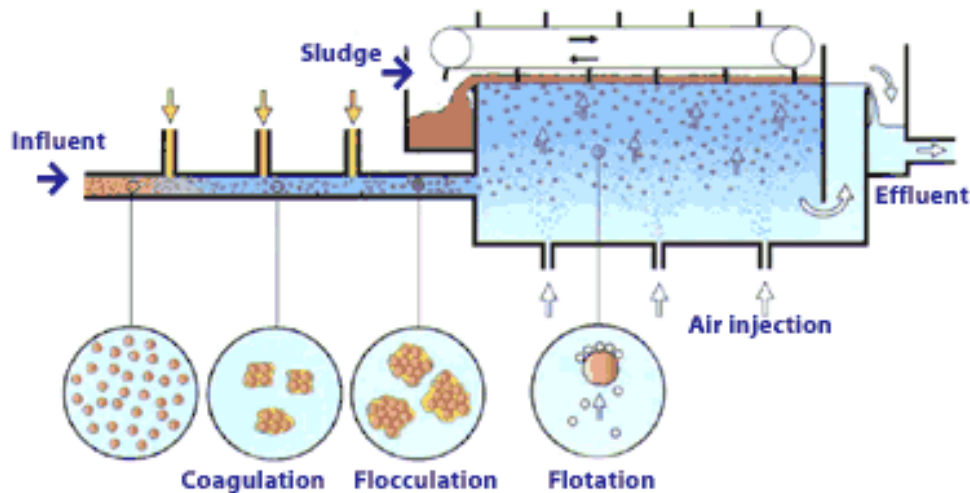


Figura 20. Coagulación-floculación

Fuente: Vargas L. 2015

Adsorción en Carbón Activo

Los carbones activos, bien granulares, se han empleado profundamente como adsorbentes en las plantas de tratamiento de agua para eliminar los olores y sabores que producen los contaminantes.

Preparación de los carbones activos:

Se preparan a partir de materias primas carbonosas tales como: madera, lignito, carbón y cascara de nuez mediante procesos térmicos que implican la deshidratación y carbonización, seguidos por la aplicación de vapor caliente. Se obtiene una estructura muy porosa con grandes áreas superficiales ($1000 \text{ m}^2/\text{g}$).

Reactivación de los carbones activos. La ventaja del carbón activo como adsorbente es la reactivación hasta 30 veces o más sin pérdida apreciable de poder de adsorción. Usualmente se lleva a cabo el calentado del carbón hasta 930°C a 1 atm. Puede realizarse en hornos de hogar o rotativos

Osmosis Inversa

Consiste en aplicarle a la disolución concentrada una presión superior a la osmótica produciéndose el paso de disolvente (agua) desde la disolución más concentrada a la más diluida hasta alcanzar un nuevo equilibrio, así como se señala en la figura 21. (Cyclus. 20015).

Usando esta técnica, se elimina la mayor parte del contenido en sales del agua.

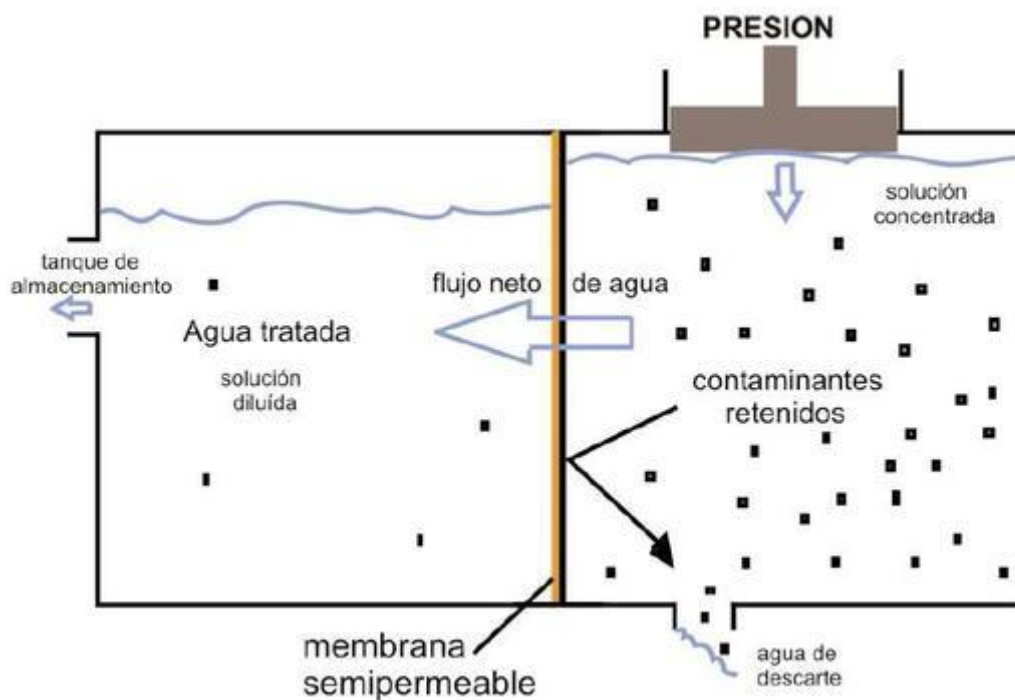


Figura 21. Osmosis Inversa

Fuente: Cyclus. 2015

Oxidación química

Estos procesos tienen como objetivo la eliminación de compuestos solubles no biodegradables, presentes en las aguas residuales.

El proceso consiste en una oxidación química en condiciones de baja presión y temperatura hasta la mineralización completa de contaminantes. El agente oxidante es una especie radicalaria denominada hidroxilo ($\text{OH}\cdot$) con una elevadísima capacidad oxidante y con tiempos de reacción muy cortos.

Debido a la altísima reactividad de estas especies es posible eliminar tanto compuestos orgánicos como inorgánicos logrando así una reducción de DQO, COT y toxicidad en las aguas residuales tratadas. Además, la generación de radicales se realiza a partir de oxígeno, agua oxigenada y catalizadores soportados, por lo que los subproductos de reacción son únicamente agua y dióxido de carbono.

La oxidación avanzada ha sido ampliamente desarrollada para una amplia gama de sectores industriales.

En la figura 22 se señala un ejemplo del proceso de oxidación química donde se utiliza una combinación de peróxido de hidrógeno y sulfato ferroso (reactivo Fenton) en una autoclave tipo tanque agitado a presión atmosférica y temperaturas entre 25-100°C. Este tipo de proceso en condiciones ácidas garantiza habitualmente una elevada degradación de la carga orgánica contaminante, consiguiendo un efluente con una menor toxicidad para un posterior tratamiento biológico o directamente un efluente con sustancias inocuas que puede ser descargado de forma segura a colectores de la red de saneamiento de los polígonos industriales.

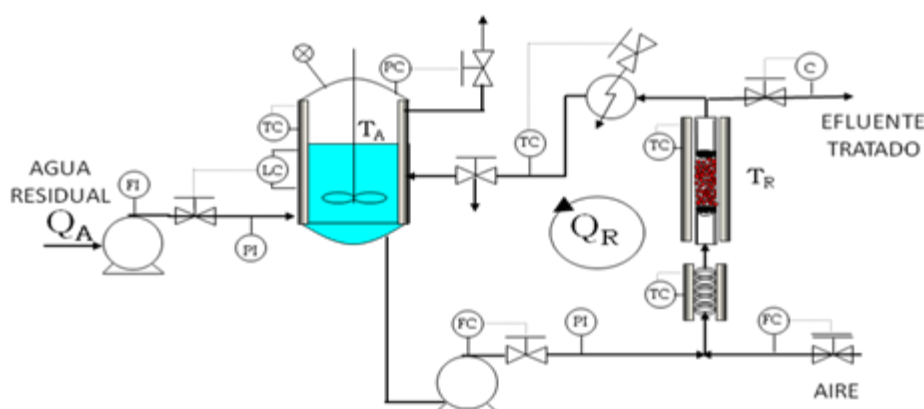


Figura 22. Oxidación química de aguas residuales.

Fuente: Remtavares 2016

CAPITULO II.

MARCO LEGAL

A continuación, se da una breve descripción de todo lo que abarca al marco legal en materia de agua como: constitución política de los estados unidos mexicanos, leyes y reglamentos ambientales, así como normas oficiales mexicanas y leyes mexicanas.

❖ ARTÍCULO 4 DE LA CONSTITUCIÓN POLÍTICA DE LOS ESTADOS UNIDOS MEXICANO.

Párrafo sexto: Toda persona tiene derecho al acceso, disposición y saneamiento de agua para consumo personal y doméstico en forma suficiente, salubre, aceptable y asequible. El Estado garantizará este derecho y la ley definirá las bases, apoyos y modalidades para el acceso y uso equitativo y sustentable de los recursos hídricos, estableciendo la participación de la Federación, las entidades federativas y los municipios, así como la participación de la ciudadanía para la consecución de dichos fines.

Párrafo quinto: Toda persona tiene derecho a un medio ambiente sano para su desarrollo y bienestar. El Estado garantizará el respeto a este derecho. El daño y deterioro ambiental generará responsabilidad para quien lo provoque en términos de lo dispuesto por la ley.

❖ LEY GENERAL DEL EQUILIBRIO ECOLOGICO Y LA PROTECCION AL AMBIENTE

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 establecer las bases para:

- I. Definir los principios de la política ecológica general y regular los instrumentos para su aplicación;
- II. El ordenamiento ecológico;
- III. La preservación, la restauración y el mejoramiento del ambiente;
- IV. La protección de las áreas naturales y la flora y fauna silvestres y acuáticas;

V. El aprovechamiento racional de los elementos naturales de manera que sea compatible la obtención de beneficios económicos con el equilibrio de los ecosistemas;

VI. La prevención y el control de la contaminación del aire, agua y suelo;

VII. La concurrencia del gobierno federal, de las entidades federativas y de los municipios, en la materia; y

VIII. La coordinación entre las diversas dependencias y entidades de la Administración Pública Federal, así como la participación corresponsable de la sociedad, en las materias de este ordenamiento.

❖ LEY GENERAL PARA LA PREVENCIÓN Y GESTIÓN INTEGRAL DE LOS RESIDUOS

Tiene por objeto garantizar el derecho de toda persona al medio ambiente sano y propiciar el desarrollo sustentable a través de la prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de los residuos peligrosos, de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial; prevenir la contaminación de sitios con estos residuos y llevar a cabo su remediación, así como establecer las bases para:

I. Aplicar los principios de valorización, responsabilidad compartida y manejo integral de residuos, bajo criterios de eficiencia ambiental, tecnológica, económica y social, los cuales deben de considerarse en el diseño de instrumentos, programas y planes de política ambiental para la gestión de residuos;

II. Determinar los criterios que deberán de ser considerados en la generación y gestión integral de los residuos, para prevenir y controlar la contaminación del medio ambiente y la protección de la salud humana;

III. Establecer los mecanismos de coordinación que, en materia de prevención de la generación, la valorización y la gestión integral de residuos.

❖ LEY DE AGUAS NACIONALES

La presente ley es reglamentaria en materia de aguas nacionales así mismo es de observancia general en todo el territorio nacional, sus disposiciones son de orden público e interés social y tienen 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.

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

El presente ordenamiento es de observancia general en todo el territorio nacional y en las zonas donde la Nación ejerce su jurisdicción; tiene por objeto reglamentar la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, en materia de evaluación del impacto ambiental a nivel federal.

❖ NOM-003-SEMARNAT-1997.-QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS QUE SE REÚSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO.

Esta norma indica los límites máximos permisibles de los contaminantes presentes en aguas residuales; en base a estos parámetros, se realiza el tren de tratamiento del agua a estudiar. Es importante que los porcentajes de los parámetros a analizar del agua a tratar sean menores o igual a los valores establecido en esta norma.

Es decir, La materia flotante debe estar ausente en el agua residual tratada; El agua residual tratada reusada en servicios al público, no deberá contener concentraciones de metales pesados y cianuros mayores a los límites máximos permisibles, establecidos en la presente norma.

❖ NMX-AA-072-SCFI-2001.-ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE DUREZA TOTAL EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

Se basará en esta norma para determinar la dureza en agua por titulación. La dureza se entiende como la capacidad de un agua para precipitar al jabón y esto está basado en la presencia de sales de los iones calcio y magnesio. La dureza es la responsable de la formación de incrustaciones en recipientes y tuberías lo que genera fallas y pérdidas de eficiencia en diferentes procesos industriales como las unidades de transferencia de calor. El término dureza se aplicó en principio por representar al agua en la que era difícil (duro) de lavar y se refiere al consumo de jabón para lavado, en la mayoría de las aguas alcalinas esta necesidad de consumo de jabón está directamente relacionada con el contenido de calcio y magnesio.

- ❖ NMX-AA-42-1987.- CALIDAD DEL AGUA DETERMINACIÓN DEL NÚMERO MÁS PROBABLE (NMP) DE COLIFORMES TOTALES, COLIFORMES FECALIS (TERMOTOLERANTES) Y *ESCHERICHIA COLI* PRESUNTIVA.

Esta norma específica cual es el procedimiento para realizar las pruebas para determinar el número más probable de Coliformes totales, fecales y de *Escherichia coli* presuntiva. El agua residual que se tratara tendrá un reúso para el riego de cultivos que se encuentran aledaños a la zona, puesto que es para uso público con contacto directo de acuerdo con la NOM-003SEMARNAT-1997 el agua debe de cumplir con ciertas especificaciones, una vez pasado el agua por dicho tratamiento se debe cerciorar que cumpla con los límites establecidos por lo que se debe seguir una metodología establecida en esta norma mexicana.

- ❖ NMX-AA-028-SCFI-2001.- ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA BIOQUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES (DBO₅) Y RESIDUALES TRATADAS.

Especifica los métodos de prueba para hacer el análisis de DBO₅ en aguas residuales. La determinación de este componente en el agua nos indica si el agua tiene excesos de materia orgánica ya que los microorganismos consumen más cantidad de oxígeno para degradarla.

❖ NMX-AA-030-SCFI-2001.- ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA QUÍMICA DE OXÍGENO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS.

La norma describe dos métodos para la determinación de DQO con dicromato. El método a reflujo abierto es conveniente para aguas residuales en donde se requiera utilizar grandes cantidades de muestra. El método a reflujo cerrado es más económico en cuanto al uso de reactivos, pero requiere una mayor homogeneización de las muestras que contienen sólidos suspendidos para obtener resultados reproducibles. La muestra se coloca a reflujo en una disolución de ácido fuerte con un exceso conocido de dicromato de potasio ($K_2Cr_2O_7$). Después de la digestión, el dicromato no reducido se mide por titulación o espectrofotométricamente para determinar la cantidad de dicromato consumido y calcular la materia oxidable en términos de oxígeno equivalente.

❖ NMX-AA-012-SCFI-2001.- ANÁLISIS DE AGUA - DETERMINACIÓN DE OXÍGENO DISUELTO EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

Esta norma mexicana establece dos métodos de prueba para la determinación de oxígeno disuelto en aguas naturales y residuales utilizando las técnicas de azida modificada y la electrométrica.

La técnica de Azida consiste en la eliminación de la interferencia causada por los nitritos (esta es la más común en efluentes tratados biológicamente y en muestras incubadas para la prueba de la DBO); se emplea en el análisis del OD en la mayoría de las aguas residuales, efluentes y aguas superficiales. Mientras que el método electrométrico se basa en la tasa de difusión del oxígeno molecular a través de una membrana plástica permeable al oxígeno, que recubre el elemento sensible de un electrodo y actúa a la vez como una barrera de difusión contra muchas impurezas que interfieren en los otros métodos para la determinación del OD. Bajo condiciones

regulares, la "corriente de difusión" es lineal y directamente proporcional a la concentración del OD.

❖ NMX-AA-100-1987.-CALIDAD DEL AGUA- DETERMINACION DE CLORO TOTALMETODO IODOMETRICO

La norma establece un método iodométrico para la determinación de cloro total en agua potable, cruda y tratada. Cuya finalidad es la destrucción los microorganismos que pueden ocasionar daños a la salud. El cloro actúa oxidando la materia orgánica.

❖ NMX-AA-004-SCFI-2013. ANÁLISIS DE AGUA – MEDICIÓN DE SÓLIDOS SEDIMENTABLES EN AGUAS NATURALES, RESIDUALES Y RESIDUALES TRATADAS - MÉTODO DE PRUEBA

El agua residual a tratar puede contener altos contenidos de sólidos sedimentables, lo cual impide ser utilizadas en forma directa por las industrias o las plantas potabilizadoras, es por ello por lo que se basará en esta norma para poder medir en forma cuantitativa este parámetro.

La norma nos indica que se coleccionará un volumen de muestra homogéneo y representativo superior a 1 L en un frasco de polietileno o vidrio con tapa de boca ancha, teniendo siempre en cuenta que el material en suspensión no debe adherirse a las paredes del recipiente. Se colocará la muestra bien mezclada en un cono Imhoff hasta la marca de 1 L. Dejar sedimentar 45 min, una vez transcurrido este tiempo desprender suavemente los sólidos adheridos a las paredes del cono con un agitador; mantener en reposo 15 min más y registrar el volumen de sólidos sedimentables en ml/L. Si la materia sedimentable contiene bolsas de líquido y/o burbujas de aire entre partículas gruesas, estimar aproximadamente el volumen de aquellas y restar del volumen de sólidos sedimentados.

- ❖ NOM-004-SEMARNAT-2002.- PROTECCIÓN AMBIENTAL LODOS Y BIOSÓLIDOS. -ESPECIFICACIONES Y LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES PARA SU APROVECHAMIENTO Y DISPOSICIÓN FINAL.

Esta norma nos especifica los límites de contaminantes que deben de tener los lodos procedentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales. En el proceso de tratamiento de aguas residuales se generan lodos que van sedimentando en los reactores y se van sacando cada determinado tiempo, estos lodos deben de tener un tratamiento para su disposición final puesto que en su composición lleva diferentes contaminantes que de ser desechados sin ningún tratamiento pueden contaminar el agua y el suelo, es por ello que se debe de tomar en cuenta el uso que se le dará a este tipo de residuos para escoger la mejor opción de tratamiento que permita que entren en la legislación ambiental.

CAPITULO III.

ANTECEDENTES

Descripción

El municipio de Coacalco se localiza en la parte norte central del Estado de México, limita al norte con Tultitlán, al sur con Ecatepec y el Distrito Federal, al oriente con Ecatepec y al poniente con Tultitlán. El clima que predomina es el mismo que en la región de Cuautitlán y Texcoco; subtropical templado semiseco o sub-húmedo. Con una temperatura promedio anual de 14°C y 650 milímetros de lluvia al año (Sánchez Isidoro, David, et. al. 2013-2015).

Coacalco de Berriozábal cuenta con una población total de 278 mil 64 habitantes (INEGI, 2010). El territorio municipal presenta dos zonas: La parte norte es plana con una altura aproximada de 2,238 msnm. La sur, la Sierra de Guadalupe con una altura cercana a los 3,000 msnm.

El proceso de urbanización ha cambiado el entorno del actual municipio de Coacalco en la tabla siguiente se muestra cómo ha cambiado el uso de suelo convirtiéndose en su mayoría en uso habitacional disminuyendo los recursos forestales.

Tabla 9. Tipo de suelo

Tipo de suelo	Superficie (Km²)	Principales características y problemas que presenta el uso de suelo
Agrícola de riego	2.49 Km ²	Se ubican al norte, poniente y oriente del municipio. Se manifiestan cambios de uso de suelo producto de la proliferación de asentamientos humanos irregulares.
Agrícola de temporal	3.9 Km ²	
Forestal	12.74 Km ²	Corresponde al parque sierra de Guadalupe, invasiones, asentamientos irregulares, deforestación.
Uso comercial	1.42 Km ²	Se desarrollan en la proliferación de la vialidad López Portillo.
Uso industrial	0.15 Km ²	Se encuentran al poniente del municipio en los límites con Ecatepec, la problemática es la factibilidad de los servicios públicos.
Uso habitacional	12.5 Km ²	Principalmente son conjuntos habitacionales. Problemas con créditos hipotecarios.
Otros tipos de usos	2.3 Km ²	Baldíos urbanos que en su mayoría no han sido ocupados.
Total de superficie municipal	35.5 Km ²	

Fuente. Dirección general de desarrollo urbano 2013-2015.

Con respecto al agua potable, esta se obtiene de 17 pozos profundos y del abastecimiento a través de la red del sistema Cutzamala, en cuanto a las aguas residuales en la actualidad se cuenta con dos plantas de tratamiento enfocadas a las aguas de las zonas industriales, en la tabla 10 se observa la infraestructura que tiene el municipio para la evaluación del agua residual.

Tabla 10. Infraestructura en cárcamos.

Cantidad	Nombre	Caudal tratado (L/s)
14 cárcamos para la evaluación de aguas residuales.	Rancho la palma I	16
	Rancho la palma III	20
	Bosques	52
	Dalias	22
	Rinconada	18
	San Rafael	77
	Villa I	16
	Villa III	41
	Potrero	17
	Planta de tratamiento GEO	21
	Ex hacienda San Felipe	36
	Laurel	75
	San José	30
	Periodistas	54

Fuente: UIPPE

La sierra de Guadalupe tiene escurrimientos de aguas pluviales que se contaminan al pasar por el municipio, algunos de estos se convirtieron en canales para las descargas de aguas residuales. En la calle Allende pasaba un canal de agua limpia proveniente de la Sierra hasta que se urbanizo esa área convirtiéndolo en un canal de descargas de aguas domiciliarias como se ve en la siguiente imagen (Figura 23) (Dirección general de desarrollo urbano 2013-2015).



Figura 23. Canal en la actualidad.

Fuente: Autoría propia 2022

CAPITULO IV.

METODOLOGÍA

Para conocer los alcances del proyecto, se comenzó por evaluar los siguientes aspectos:

1. Aspectos Geográficos

Localización

La planta de tratamiento propuesta se ubicará en el municipio de Coacalco de Berriozábal que se encuentra en la parte norte central del Estado de México, limitado al norte con Tultitlán, al sur con Ecatepec y el Distrito Federal, al oriente con Ecatepec y al poniente con Tultitlán tal como se muestra en la figura 24.

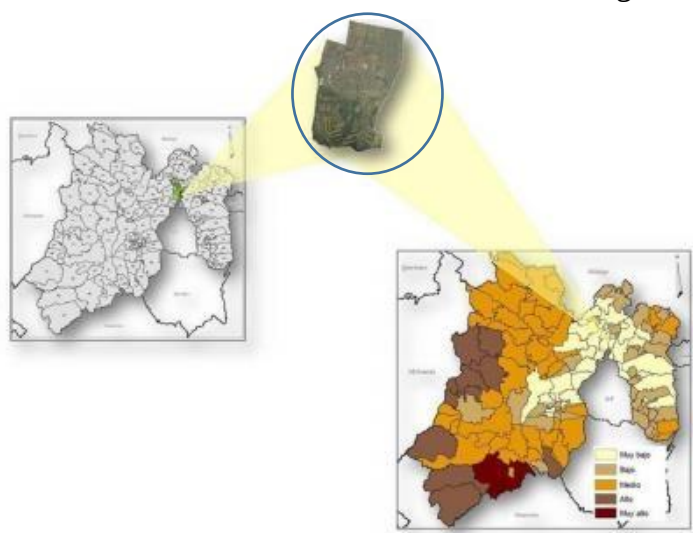


Figura 24. Ubicación municipio de Coacalco.

Fuente: COESPO, con base en información de INEGI, Censo de Población y Vivienda 2010. ITER.

Cerca de la calle Allende se colocará una planta de tratamiento para recolectar el agua que proviene del canal que pasa a un costado del terreno, esto con el fin de aprovechar la pendiente dejando que el flujo entre a la planta por gravedad en vez de utilizar una bomba. En las figuras 25 y 26 se muestra con más detalle la ubicación y características del terreno y el canal a tratar.



Figura 25. Ubicación de la planta de tratamiento de aguas residuales.

Fuente: Google maps, 2016

Como se puede ver en las imágenes el canal pasa a un costado del terreno lo que evitara el uso de grandes extensiones de tubería para llegar a la planta, así como el uso de bombas de menor potencia. La forma de este terreno tiene la ventaja de que esta escalonado por lo tiene una pendiente favorable que nos permitirá que la planta de tratamiento opere por medio de gravedad.



Figura 26. Fotos del lugar en donde se ubicará la planta de tratamiento

Fuente: Autoría propia 2022

2. Caracterización del agua

Muestreo

1. Se recolectó el agua residual del canal ubicado en la calle Allende en dos puntos a distintas horas uno a las 7:00 am y el otro a la 1:00 pm para obtener la mayor cantidad de elementos que contiene dicha agua residual, uno de los puntos de muestreo fue con régimen turbulento y el otro con un régimen laminar como se observa en la figura 27.



Figura 27. Lugar y puntos de muestreo.

Fuente: Autoría propia 2022

2. Se colocaron cuatro litros de la muestra en botellas de polietileno con equipo manual y se etiquetaron con la siguiente información: temperatura, lugar, fecha y número de muestra. Posteriormente, se refrigeró la muestra y se llenó una hoja de registro para describir las características del lugar.

Terminando el muestreo se procedió a realizar análisis fisicoquímicos para conocer los componentes que contenía dicha agua con los siguientes procedimientos:

Dureza

- Se colocaron 50 ml de la muestra de agua en un matraz Erlenmeyer y se añadieron de uno a dos ml de la solución amortiguadora para alcanzar un pH de 10.
- Se agregaron a esta muestra 0.2 g del indicador eriocromo negro T. La muestra tomó un color rojizo.
- Posteriormente se tituló la muestra con la disolución EDTA, hasta obtener un color azul.

Se utilizó la siguiente ecuación para determinar la dureza total del agua muestra.

$$\text{Dureza total} = \frac{(A - B) \times C \times 1,000}{D}$$

Dónde:

A= ml de EDTA gastados en la titulación de la muestra.

B= ml de EDTA gastados en la titulación en el blanco.

C= mg de CaCO₃ equivalentes a 1 ml de EDTA.

D= ml de la muestra.

pH y Cloro

- Para determinar el cloro se le agregó 4 gotas de orto-tolidina y se agitó, si existe presencia de cloro el agua tomará un color amarillo cuya intensidad es proporcional a la concentración del elemento.
- Para determinar el pH se le agregaron 4 gotas de fenol rojo. A pH inferiores de 6.8 tendrá un color amarillo, arriba de 8 tiene un color violeta y a pH entre 6.8 y 8 tiene un color naranja.

Solidos sedimentables

- Se colocó 1 litro del agua muestra en un cono imhoff y se deja reposar por una hora.
- Luego se midió la cantidad de solidos que se sedimentan en un litro de agua.

Solidos suspendidos totales (SST)

- Se homogenizo el agua muestra.
- Se filtró la muestra: Se colocó en un matraz un cono con papel filtro y se pasaron 500ml el agua para así poder retener los sólidos en el papel.
- Una vez de terminada la filtración del agua se colocó el papel filtro en los crisoles y se metió a la mufla a 120°C durante 15 min.
- Se pasó el crisol con el papel al desecador y posteriormente se pesó.
- Se utilizó la siguiente fórmula para determinar la cantidad de solidos totales en la muestra.

$$ST = \frac{(m_3 - m_1)}{V} 1000000$$

Donde:

ST= Solidos totales en mg/L.

m₃= Masa de la cápsula con el residuo, después de la evaporación, en g.

m₁= Masa de la cápsula vacía a masa constante, en g.

V= Volumen de la muestra en ml.

DQO

- Se realizó el procedimiento con un equipo para la medición de la demanda química de oxígeno.
- Se colocó en tubos de ensaye 2 ml de la muestra que ya tenía 3ml del reactivo (solución estándar dicromato de potasio).
- Se introdujeron los tubos de ensaye en el equipo y se calentó a 150°C durante dos horas, para que se hiciera el proceso de digestión.

- Una vez pasado el tiempo se colocó en el medidor para conocer la cantidad de DQO de la muestra.

Coliformes y Salmonella

- Se prepara el medio de cultivo para *Salmonella* y *Shigela* y del agar Mac Conkey para Coliformes. Colocando en 250 ml de agua destilada, para preparar agar de *Salmonella Shigela* se disuelve 7.2 gramos y para agar Mac Konkey se disuelven 6 gramos.
- Se revuelve la mezcla y se calienta hasta que hierva, una vez pase esto se sella el matraz colocándole un tapón hecho de algodón y gasa y se tapa con una bolsa para evitar que entre agua al medio de cultivo.
- Se colocan en la autoclave los medios de cultivo durante 1 hora para posteriormente colocarlos en cajas Petri y espera a que gelatinice, a una parte de las cajas se les coloca 1 ml de la muestra de agua sin diluir y a la otra el agua diluida, esto para cada uno de los medios.
- Al observar el crecimiento de microorganismos, se definieron y contabilizaron las especies bacterianas, clasificando los resultados en dos grupos, dependiendo si el agua ese encontraba diluida o no.

3. Tren de tratamiento

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio de los análisis fisicoquímicos realizados al agua proveniente del canal, se prosiguió a la realización del tren de tratamiento, el cual está basado en la NOM-003-SEMARNAT, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, como lo muestra la tabla 11 a continuación.

Tabla 11. Límites máximos permisibles de contaminantes

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES					
TIPO DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO ₅ mg/l	SST mg/l
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≥ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PÚBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

4. Dimensionamiento de PTAR.

Una vez definido el tren de tratamiento se procedió a dimensionar la planta, se elaboraron los cálculos para la construcción de la misma, basados en los resultados obtenidos anteriormente y los factores geográficos estudiados en dicha área.

5. Diagrama de flujo de proceso (Layout).

De acuerdo con los resultados obtenidos de la memoria de cálculo, se prosiguió a la realización del diagrama de proceso, el cual involucra el dimensionamiento de la planta así como el tratamiento a realizar el agua objeto de estudio.

6. Costos.

Se llevo a cabo la ingeniería de costos para conocer la inversión necesaria, así como las ganancias que se obtendrán con la venta del agua tratada.

7. Impacto Ambiental.

Para dicho proyecto, es de suma importancia conocer el impacto que se tendrá en la construcción de la planta. El estudio se elaboró con base en el Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente en materia de evaluación de impacto ambiental.

8. Seguridad e Higiene.

Se elaboró un análisis de riesgo, ya que, al construir una planta, esta debe de cumplir con estándares de seguridad, cuya finalidad es salvaguardar y conservar la integridad de los empleados, proveedores, contratistas y visitantes.

CAPITULO V.

RESULTADOS

Caracterización del agua

Posteriormente se realizarán análisis fisicoquímicos y microbiológicos para conocer las características del agua residual al canal de aguas negras de la calle Allende, obteniendo los siguientes valores señalados en la abla 12.

Tabla 12. Caracterización del agua residual.

Parametro	Resultados
Coliformes Fecales NMP/100 ml	850
Huevos de Helminto (h/l)	34
Grasas y Aceites mg/l	4.8
DBO5 mg/l	150
SST mg/l	390.00
Arsenico	0.15
Cadmio	0.04
Cianuro	1.5
Cobre	2
Cromo	0.01
Mercurio	0.003
Niquel	1.5
Plomo	0.005
Zinc	5

Fuente. Autoría propia 2022



Figura 28. Muestras de agua residual del canal de aguas negras calle Allende

Fuente: Autoría propia 2022

Tren de tratamiento

De acuerdo con los resultados obtenidos por medio de los análisis fisicoquímicos y microbiológicos realizados a las aguas residuales del canal de aguas negras de la calle Allende, y en cumplimiento a la NOM-003-SEMARNAT, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, se optó por el tren de tratamiento descrito en el diagrama de la Figura 29.

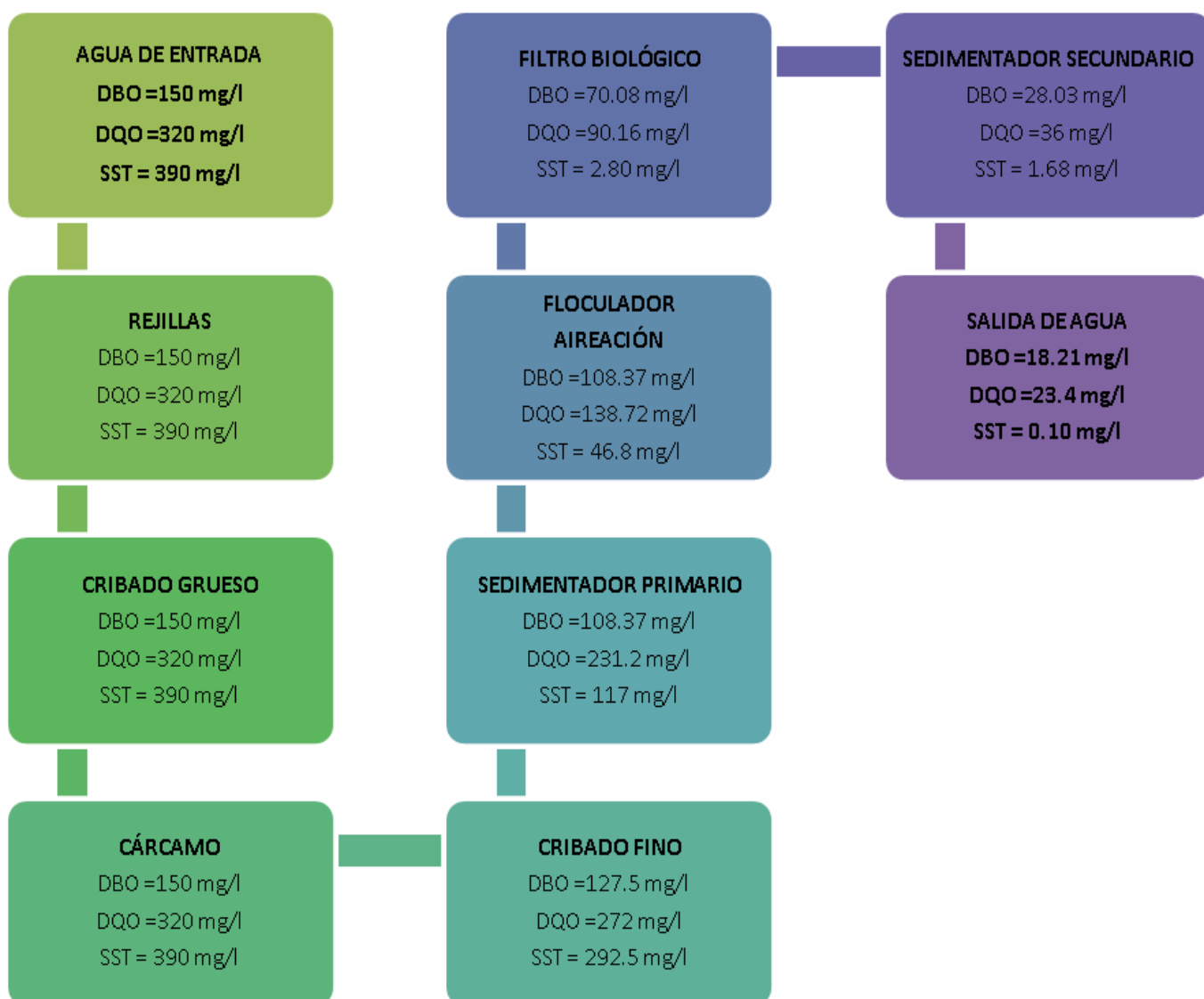


Figura 29. Tren de tratamiento
Fuente: Autoría propia 2022

Los parámetros fisicoquímicos y biológicos obtenidos en nuestro efluente después del tren de tratamiento son los descritos en la siguiente Tabla 13.

Tabla 13. Caracterización de agua después del tren de tratamiento

Parametro	Resultados	Limite maximo permisible
Coliformes Fecales NMP/100 ml	200	240
Huevos de Helminto (h/l)	0	≤ 1
Grasas y Aceites mg/l	4.8	15
DBO5 mg/l	18.21	20
SST mg/l	0.10	20
Arsenico	0.1	0.2
Cadmio	0.02	0.05
Cianuro	1	2
Cobre	1	4
Cromo	0.002	0.05
Mercurio	0.001	0.005
Niquel	1	2
Plomo	0.003	0.05
Zinc	3	10

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1996

Se da cumplimiento con los límites máximos permisibles en la NOM-003-SEMARNAT-1996

Memoria de cálculo

Con base al tren de tratamiento propuesto anteriormente, se muestra la memoria de cálculo, para la realización del dimensionamiento de cada uno de los equipos en las operaciones unitarias para el tratamiento de agua residual

Caudal (Gasto)

Para calcular el caudal se utilizó la siguiente fórmula.

$$Q = D \times h \times Ca$$

Dónde:

Q=Caudal (m³/día)

D=Gasto de agua por habitante (150-200 L/día) h=Número de habitantes

Ca=Coeficiente de aportación (10 - 20%)

Cárcamo de bombeo

Diámetro

Se calculó a partir de la siguiente fórmula

$$D = \sqrt{4 \frac{A}{\pi}}$$

$$Dp = 2r$$

Dónde:

D=diámetro (m)

A= área

Dp= diámetro de la partícula

r=radio

Altura

Se calculó con la siguiente fórmula

$$h = 2 \times D$$

Dónde:

h=altura (m)

D=diámetro

Radio

Para el radio se usó la siguiente fórmula

$$r = \sqrt[3]{\frac{vp}{\pi} \times \frac{4}{3}}$$

Cribado grueso - Headloss

Para calcular el headloss se utilizó la siguiente fórmula.

$$hl = \frac{1}{C} \times \frac{vs^2 \times v^2}{2g}$$

Dónde:

hl= headloss

C= coeficiente 0.8-0.75 limpio y 0.6 sucio

G= gravedad, aceleración (9.81m/s²)

V= velocidad (m/s)

Vs= velocidad a través de malla (m/s)

Velocidad a través de la malla

Para calcular la velocidad a través de la malla se utilizó la siguiente fórmula.

$$vs = \frac{Q}{A}$$

Dónde:

Q=caudal (m³/s)

A=área (m²)

Cribado fino

Para calcular el cribado fino se utilizó la siguiente fórmula.

$$hl = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2$$

Dónde:

C=coeficiente

Q= descargas a través de la rejilla (m³/s)

A= área efectiva (m²)

g=aceleración (9.81 m/s²)

Sedimentador Primario-Secundario

Fuerza de gravedad

Para calcular la fuerza de gravedad se utilizó la siguiente fórmula.

$$F_g(\delta_p - \delta_w)gV_p$$

Dónde:

$$F_G = (kg \cdot m/s^2)$$

δ_p = densidad de la partícula (kg/m³) δ_w =densidad del agua (kg/m³) g=aceleración (9.81 m/s²)

V_p=volumen de la partícula m³

Fuerza de fricción

Para calcular la fuerza de fricción se utilizó la siguiente fórmula.

$$F_d = \frac{C_d A_p \delta_w V_p^2}{2}$$

Dónde:

F_d=fuerza de fricción (Kgm/s²)

A_p=área seccional (m²)

C_d=coeficiente de fricción o arrastre

V_p=velocidad de sedimentación o flotación (m/s)

δ_w =densidad del agua (kg/m^3)

Numero de Reynolds

Para calcular el número de Reynolds se utilizó la siguiente fórmula.

$$NR = \frac{4Q\delta_w}{\mu\pi D}$$

Dónde:

Q=caudal

δ_w =densidad del agua (kg/m^3)

μ =viscosidad cinemática

D=diámetro de la partícula

Coeficiente de fricción

Para calcular el coeficiente de fricción se utilizó la siguiente fórmula.

$$Cd = \frac{24}{NR} + \frac{3}{\sqrt{NR}} + 0.34$$

Dónde:

NR=número de Reynolds

Turbulento

Velocidad de la partícula

Para calcular la velocidad de la partícula se utilizó la siguiente fórmula.

$$V_p = \sqrt{3.33g \left(\frac{\delta_p - \delta_w}{\delta_w} \right) dp}$$

Dónde:

g=gravedad y aceleración (9.81 m/s^2)

δ_p =densidad de la partícula (kg/m^3)

δ_w =densidad del agua (kg/m^3)

dp=diámetro de la partícula

Velocidad terminal

Para calcular la velocidad terminal se utiliza la siguiente fórmula.

$$V_p(t) = \sqrt{4g \left(\frac{\delta_p - \delta_w}{\delta_w} \right) dp}$$

Dónde:

g =aceleración (9.81 m/s²)

δ_p =densidad de la partícula (kg/m³)

δ_w =densidad del agua (kg/m³)

dp = diámetro de la partícula

Área de la partícula

Para calcular el área de la partícula se calculó la siguiente fórmula.

$$A_p = \pi r^2$$

Dónde:

r =radio

Área del sedimentador

Para calcular el área del equipo se utilizó la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q}{BH}$$

Dónde:

Q =caudal

BH =carga hidráulica

Tiempo de retención hidráulica

Para calcular el tiempo de retención hidráulica.

$$TRH = \frac{V}{Q}$$

Dónde:

V= volumen (m³)

Q=caudal (m³/s)

TRH= segundos

Filtro Biológico-Reactor de Lodos Activados

Profundidad recomendada

Para calcular la profundidad recomendada se utilizó la siguiente fórmula.

$$h = \frac{V}{A}$$

Dónde:

V=volumen

A=área

Volumen del filtro

Para calcular el volumen se utilizó la siguiente fórmula.

$$V = Q \frac{C}{Bv}$$

Dónde:

Q=caudal

Diámetro del filtro biológico

Para calcular el diámetro se utilizó la siguiente fórmula.

$$D = \sqrt{4 \frac{A}{\pi}}$$

Dónde:

A=área

Área para el filtro

Para calcular el área se utilizó la siguiente fórmula.

$$A = \frac{Q}{BH}$$

Dónde:

BH=carga hidráulica

Q=caudal

Tubería y bombas

Área para las tuberías

Para calcular el área se utilizó la siguiente fórmula.

$$A = \pi(r)(H_{geom})$$

Dónde:

r=radio (m)

A=área (m²)

Hgeom= metros

Hgeom

Para calcular la Hgeom se utilizó la siguiente fórmula.

$$H_{geom} = \sum \text{toda la tubería}$$

Donde:

Σ =sumatoria

Velocidad del agua en tuberías

$$V = \frac{Q}{A}$$

V= velocidad (m/s)

Q= caudal (m³/s)

A=área (m²)

Hm codo

Para calcular las perdidas menores de los codos se utilizó la siguiente fórmula.

$$H_m = K \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

Hm=perdidas menores

K= radio menor codo V=velocidad (m/s) g=gravedad

Hm válvula

Para calcular el Hm de la válvula se utilizó la siguiente fórmula.

$$h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

Dónde:

K= radio menor válvula V=velocidad (m/s) g=gravedad

HT distancia o altura total

Para calcular la distancia o altura total se utilizó la siguiente fórmula.

$$H_t \text{ o } D_t = h_{geom} + \sum h_m + \frac{V}{2g}$$

Donde:

Hgeom= m

$\sum h_m$ = Sumatoria de hm codo y válvula

V=velocidad (m/s) g=gravedad

Potencia de la Bomba

Para calcular la potencia se utilizó la siguiente fórmula.

$$P = \frac{Q \gamma H_T}{n}$$

Dónde:

n=eficiencia del bombeo

Q =caudal

P= potencia (watts)

Coeficiente de fricción

Para calcular el coeficiente de fricción se utilizó la siguiente formula.

$$F = \frac{64}{NR}$$

Dónde:

NR=número de Reynolds

F=coeficiente de fricción

Dimensionamiento

A continuación, se muestra el dimensionamiento de los equipos aplicando las fórmulas mencionadas con anterioridad.

Ecuación	Resultado	Observaciones
Caudal $Q = D \times h \times Ca$	Q= 180,000lt/día = 180m ³ /día	
Cribado Grueso $v_{hl} = \frac{1}{C} \times \frac{v s^2 \times v^2}{2g}$ $s = \frac{Q}{A}$	hl _{limpio} = -0.0262m hl _{sucio} = - 0.0306	Debido a que son valores negativos no se pondrá cribado grueso, en su lugar se optó por colocar rejillas.
Cribado fino $hl = \frac{1}{2g} \left(\frac{Q}{CA} \right)^2$	hl _{limpio} = 1.12x10 ⁻³ m hl _{sucio} = 6.14x10 ⁻⁷ m	
Cárcamo de bombeo V = Q + 20% $D = \sqrt[4]{\frac{A}{\pi}}$	Dimensionamiento V = 216 m ³ D = 5.16 m h = 10.32 m	

Sedimentador Primario $D = \sqrt{4 \frac{A}{\pi}}$ Temperatura del agua a 5°C $v_p = \sqrt{3.33 g \left(\frac{\delta_p - \delta_w}{\delta_w} \right) d_p}$ $NR = \frac{4Q\delta_w}{\mu\pi D}$ $Fd = \frac{CdAp\delta_w V^2 p}{2}$ $Cd = \frac{24}{NR} + \frac{3}{\sqrt{NR}} + 0.34$ $v_p(t) = \sqrt{4g \frac{\delta_p - \delta_w}{\delta_w} d_p}$ Temperatura del agua a 20°C $A = \frac{Q}{BH}$ $V = h$ $D = \sqrt{4 \frac{A}{\pi}}$ $m = PL(V)$ $v_p = \frac{m}{p}$ $FG = (\rho_p - \rho_w c) g V_p$ $r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi} \frac{x}{4}}$ $D_p = 2r$ $A_p = \pi r^2$ $NR = \frac{4Q\delta_w}{\mu\pi D}$ $v_p = \sqrt{3.33 g \left(\frac{\delta_p - \delta_w}{\delta_w} \right) d_p}$ $Fd = \frac{CdAp\delta_w V^2 p}{2}$ $Cd = \frac{24}{NR} + \frac{3}{\sqrt{NR}} + 0.34$	Dimensionamiento A=4.5 m² V=18 m³ D=2.39 m Tamaño de la Partícula Vp=6.678x10⁻⁶m³ FG=0.131Kgm/s² r=0.014 Dp=0.028 m NR=94300607.55 Vp=1.34 m/s Cd=0.34 Fd=0.187 Kgm/s² Vp(t)= 1.466m/s Ap= 6.16x10⁻⁴ m =0.020kg Vp =6.72x10⁻⁶m³ FG =0.1318Kgm/s r =0.01418m Dp =0.028m Ap =6.16x10⁻⁴ m² NR =62356766 vp =1.05 m/s Cd =0.34 Fd =0.11 vp(t)=0.84	Los parámetros ya establecidos, mismos que se tomaron en cuenta para cálculos, fueron: Profundidad recomendada = 4 m Carga hidráulica = 40 m³/m² x día Densidad del agua = pw 5°C = 1000kg/m pw20°C = 998.2kg/ m3 μ5 °C= 1.519x10⁶m²/s μ20°C= 1.003x10⁶m²/s Nota: los flujos a diferentes temperaturas son turbulentos, cabe mencionar que no fue necesario modificar el diámetro de la partícula, ya que ambos floclan.
---	--	--

$v_p(t) = \sqrt{4g \frac{\delta p - \delta w}{\delta w} dp}$		
Floculador $A = \frac{Q}{BH}$ $D = \sqrt[4]{\frac{4A}{\pi}}$ $h = \frac{V}{A}$ $TRH = \frac{V}{Q}$	Dimensionamiento A= 6 m² D= 2.76 m h=4 m v=24m³ TRH= 3.20 hrs. 6250 RPM (revoluciones por minuto)	Para que la partícula no se rompa y cumpla con la función correspondiente, se debe tener una agitación de 6250 revoluciones por minuto para realizar una correcta floculación.
Sedimentador secundario $D = \sqrt[4]{\frac{4A}{\pi}}$ $r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi} \frac{3}{4}}$ $D_p = 2r$ $h = \frac{V}{A}$ Temperatura a 5°C y a 20°C $NR = \frac{4Q\delta w}{\mu\pi D}$ $v_p = \sqrt{3.33g \left(\frac{\delta p - \delta w}{\delta w} \right) dp}$ $Fd = \frac{Cd A_p \delta w V^2 p}{2}$ $Cd = \frac{24}{NR} + \frac{3}{\sqrt{NR}} + 0.34$ $v_p(t) = \sqrt{4g \frac{\delta p - \delta w}{\delta w} dp}$ Área y diámetro del sedimentador $A = \frac{Q}{BH}$ $V = h$ $D = \sqrt[4]{\frac{4A}{\pi}}$ $m = PL(V)$	Dimensionamiento A= 11.25m² V=33.75m³ D=3.78m Tamaño de la Partícula Vp=1.9x10⁻⁶m³ FG=0.037 Kgm/s² r=9.3x10⁻³ D=0.019m NR=141016949.2 Vp=1.11m/s Cd=0.34 Fd=0.056Kgm/s² Vp(t)=0.19m/s Ap=2.7x10⁻⁴m² A = 11.25m² V = 33.75m³ D = 3.78m m = 5.78x10⁻³ Kg vp = 1.93x10⁻⁶ m³ FG = 0.038 kg x m/s² r = 9.35x10⁻³m D = 0.0187m Ap = 2.74x10⁻⁴ m² NR = 93368419.69 vp = 1.10 m/s Cd = 0.34	NOTA: Ambos flujos a diferentes temperaturas, de acuerdo a los cálculos resultaron turbulentos, sin embargo fue necesario iterar para modificar el diámetro de la partícula.

$v_p = \frac{m}{p}$ $FG = (\rho_p - \rho_w c)gV_p$ $r = \sqrt[3]{\frac{v}{\pi} \times \frac{3}{4}}$ $D_p = 2r$ $A_p = \pi r^2$ $NR = \frac{4Q\delta_w}{\mu\pi D}$ $v_p = \sqrt{3.33g\left(\frac{\delta_p - \delta_w}{\delta_w}\right)dp}$ $Fd = \frac{CdA_p\delta_w V^2 p}{3^2}$ $Cd = \frac{24}{NR} + \frac{3^2}{\sqrt{NR}} + 0.34$ $v_p(t) = \sqrt{\frac{4 \times g}{3 \times Cd} \left(\frac{\rho_p - \rho_w}{\rho_w} \right) D}$	$Fd = 0.05$ Diámetro ideal $D = 0.00025 \text{ M}$ $A_p = 4.91 \times 10^{-8}$ $NR = 6983957792$ $v_p = 0.12 \text{ m/s}$ $Cd = 0.34$ $Fd = 0.00000012$ $v_p(t) = 0.13 \text{ m/s}$	
Filtro Biológico Reactor de lodos activos $A = \frac{Q}{BH}$ $h = \frac{V}{A}$ $V = Q \frac{C}{Br}$ $D = \sqrt{4 \frac{A}{\pi}}$	Dimensionamiento $A = 9 \text{ m}^2$ $D = 3.38 \text{ m}$ $H = 1.43 \text{ m}$ $V = 12.82 \text{ m}^3$ $\text{TRH} = 18\text{-}36 \text{ Hrs}$ $\text{T tiempo de retención celular} = 20\text{-}30$ $\text{Oxígeno necesario KgO}_2/\text{KgDBO}_5 = 2 \text{ a } 2.5$ $\text{Cantidad de Cloro para la inactivación de Salmonella y Coliformes totales} = 0.001278 \text{ mg/Lt}$ $6.69 \times 10^{-7} \text{ m}$ $\sum hm = 8.83 \times 10^{-7}$	Se tomaron los valores de tiempo de retención hidráulica, tiempo de retención celular, oxígeno requerido y cantidad de cloro, de acuerdo con el reactor a implementar y a la cantidad de <i>Salmonella</i> y Coliformes totales presentes en el agua residual.
Bomba y Tuberías $A = \pi(r)(H_{geom})$ $H_{geom} = \sum \text{ toda la tubería}$ $V = \frac{Q}{A}$ $hm = K \frac{V^2}{2g}$	$H_{geom} = 4 \text{ m}$ $A = 1.28 \text{ m}^2$ $V = 1.62 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ $Hm \text{ codo} = 1.07 \times 10^{-7}$ $Hm \text{ válvula} = 6.69 \times 10^{-7} \text{ m}$ $\sum hm = 8.83 \times 10^{-7}$ $HT = 4 \text{ m}$ $NR = 101.67$	El flujo que pasa a través de las tuberías es laminar.

$h_t = h_{geom} + \sum h_m + \frac{V}{2g}$ $NR = \frac{\delta p V \varphi}{\mu d}$ $P = \frac{Q \gamma_{HT}}{n}$ $F = \frac{64}{NR}$	P= 92.55 Watts 0.12 hp F= 0.63	
--	--------------------------------------	--

DIAGRAMA DE FLUJO DE PROCESO

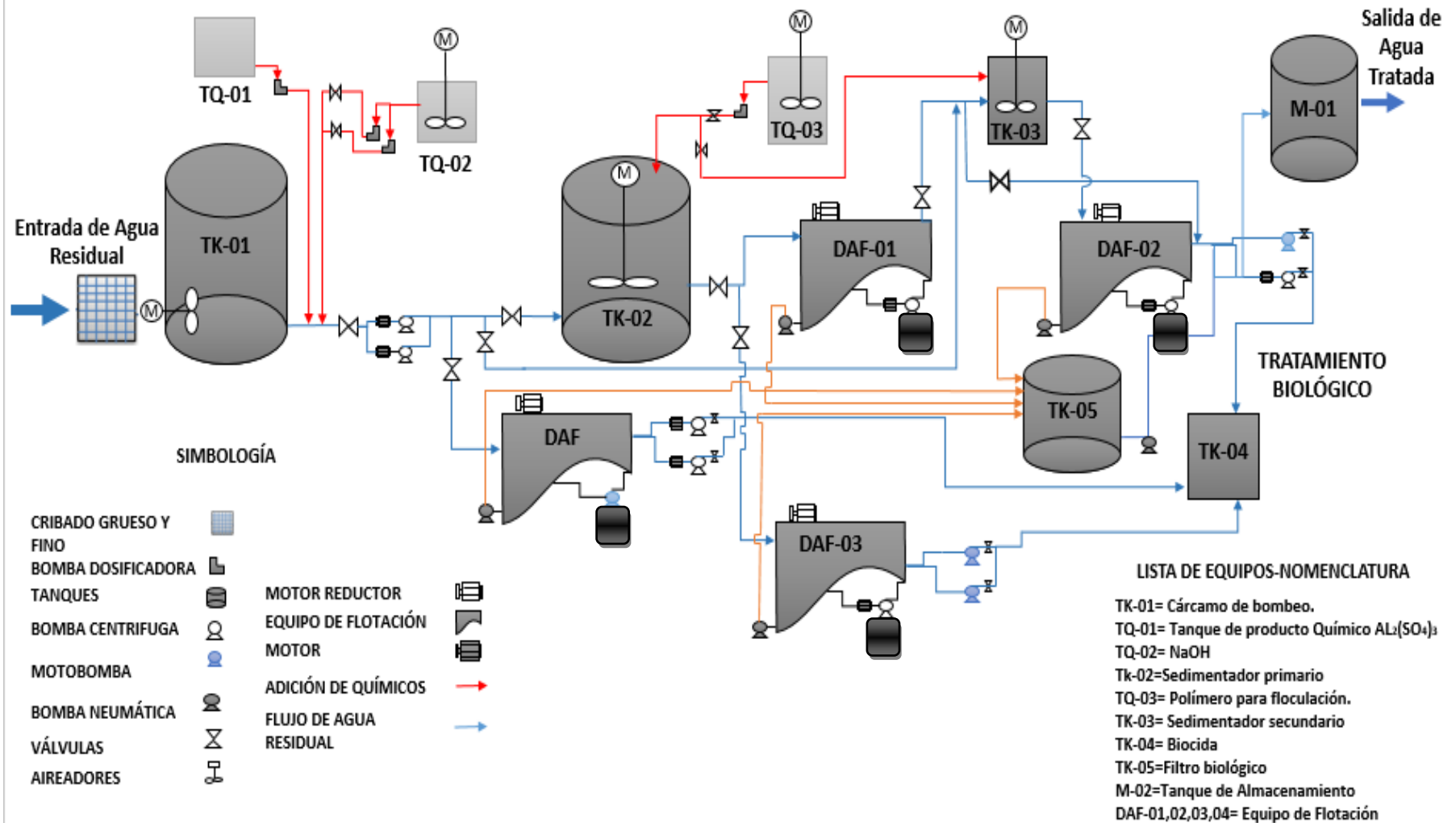


Figura 30. Diagrama de flujo

Fuente: Autoría propia 2022

Costos

A continuación, se describe la ingeniería de costos que se requiere para el diseño de la planta de tratamiento de aguas residuales, así como las ganancias que se tendrían con la construcción de la PTAR.

Tabla 13. Costo por cada uno de los componentes para rejillas.

Equipo				
Rejillas, desarenador y Canaleta Parshal.	Unidad	Cantidad	Precio unitario \$	Sub. Total \$
Excavación utilizada CAT D-6	24 hrs	1	2500	2500
Compactación de suelo	24 hrs	1	1500	1500
Solera 15x15 cm	m ³	1	168	168
Losa de 10 cm de espesor	m ³	1	485.2	485.2
Paredes de concreto de 15 cm de espesor	m ³	2	409.33	818.66
Paredes de ladrillo colado	m ²	1	11.12	11.12
Solera de coronamiento SC-1	m ³	3	168	504
Empedrado fraguado espesor de 15 cm	m ³	1	1000	1000
Impermeabilizante	20 L	1	400	400
Pintura de aceite	gl	1	350	350
Rejillas con barra de ¼"	m ²	1	200	200
Bandeja de escurrimiento (placa perforadora)	m ²	1	200	200
			Total de costo directo	8136.98
			Total de costo indirecto (35%)	2847.943
			Costo total	\$10984.92

Fuente: Greco Soluciones Integrales SA de CV.

Tabla 14. Costo del material para la construcción del cárcamo de bombeo.

Equipo	Unidad	Cantidad	Precio Unitario	Sub total
Retro excavadora	24 hrs	5	1000	5000
Olla de concreto con 200 m ²	m ³	2	1500	3000
Solera 15x15 cm	m ³	1	168	168
Varilla de ½”	m ³	10	150	1500
Pintura de aceite	gl	1	350	350
Rejilla con barras ¼”	m ²	1	200	200
Impermeabilizante	20 L	3	400	1200
		Total del costo directo		25250.866
		Total del costo indirecto (35%)		8837.8031
		Costo total		34088.6691

Fuente: Greco Soluciones Integrales SA de CV

Tabla 15. Costos de los equipos para el sedimentador primario

Equipo	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Sub total
Excavación utilizada CAT D-6	24 hrs	\$4.00	2500	10000
Compactación de suelo	24hrs	\$3.00	1500	4500
Solera 15x15 cm	m ³	\$20.00	168	3360
Losa de 10 cm de espesor	m ³	\$5.00	485.20	2426
Paredes de concreto de 15 de espesos	m ³	\$10.00	409.33	4093.30
Paredes de ladrillo colado intermedio	m ²	\$10.00	11.12	111.20
Solera de coronamiento SC-1	m ³	\$3.00	168	504
Empedrado fraguado espesor de 15 cm	m ³	\$3.00	1000	3000
Impermeabilizante	20 L	\$10.00	400	4000
Pintura de aceite	L	\$10.00	350	3500
Solera intermedia S-1 (30x20)	m ²	\$10.00	200	2000
		Total de costo directo		37494.50
		Total del costo indirecto (35%)		13123.08
		Costo total		50617.58

Fuente: Greco Soluciones Integrales SA de CV.

Tabla 16. Costos para la construcción del filtro biológico.

Equipo	Unidad	Cantidad	Precio unitario	Sub total
Excavación utilizando CAT D-6	24hrs	\$4.00	2500	10000
Compactación de suelo	24 hrs	\$3.00	1500	4500
Solera 15x15 cm	m ³	\$20.00	168	3360
Losa de 10 cm espesor	m ³	\$5.00	485.20	2426
Paredes de concreto de 15 cm espesor	m ³	\$10.00	409.33	4093.30
Paredes de ladrillo colado intermedio	m ²	\$10.00	11.12	111.20
Solera de coronamiento SC-1	m ³	\$3.00	168	504
Empedrado fraguado espesor 15 cm	m ³	\$3.00	1000	3000
Impermeabilizante	20 L	\$10.00	400	4000
Pintura de aceite	gl	\$10.00	350	3500
Solera intermedia S-1 (30x20)	m ²	\$10.00	200	2000
Grava	m ²	\$5.00	350	1750
Gravilla	m ²	\$5.00	350	1750
		Total de costo directo		
		Total de costo indirecto (35%)		140,994.504,348.08
		Costo total		55,342.58

Fuente: Greco Soluciones Integrales SA de CV.

Tabla 17. Costos para la construcción del sedimentador secundario.

Equipo	Costo	Cantidad	Precio unitario	Sub total
Excavación utilizada CAT D-6	24 hrs	\$4.00	2500	10000
Compactación de suelo	24hrs	\$3.00	1500	4500
Solera 15x15 cm	m ³	\$20.00	168	3360
Losa de 10 cm de espesor	m ³	\$5.00	485.20	2426
Paredes de concreto de 15 de espesos	m ³	\$10.00	409.33	4093.30
Paredes de ladrillo colado intermedio	m ²	\$10.00	11.12	111.20
Solera de coronamiento SC-1	m ³	\$3.00	168	504
Empedrado fraguado espesor de 15 cm	m ³	\$3.00	1000	3000
Impermeabilizante	20 L	\$10.00	400	4000
Pintura de aceite	L	\$10.00	350	3500
Solera intermedia S-1 (30x20)	m ²	\$10.00	200	2000
		Total de costo directo		37494.50
		Total del costo indirecto (35%)		13123.08
		Costo total		50617.58

Fuente: Greco Soluciones Integrales SA de CV.

Tabla 18. Costos para la construcción de la planta.

Equipo	Costo
Rejilla, desarenador y canaleta Parshall	\$10,984.92
Cárcamo de bombeo	\$34,088.67
Sedimentador primario	\$50,618.00
Sedimentador secundario	\$50,618.00
Filtro biológico	\$55,343.00
Coto total	\$201,652.59

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 19. Capital de trabajo

Materia prima	Costo Mensual
Floculante y Coagulante	\$2,000.00
Lodo biológico	\$500.00
Filtros	\$3,000.00
Total	\$5,500.00

Fuente: Nalco de México SA de CV

Tabla 20. Reinversión

	Cantidad	Tiempo a pagar (años)	Costo unitario	Total	Pago anual
Computadoras	3	5	\$15,000.00	\$45,000.00	\$9,000.00
Camioneta 3/2	1	5	\$250,000.00	\$250,000.00	\$50,000.00
Pipa de agua	1	5	\$300,000.00	\$300,000.00	\$60,000.00
Automóviles	2	5	\$80,000.00	\$160,000.00	\$32,000.00
Lap-top	3	3	\$10,000.00	\$30,000.00	\$10,000.00
			Pago anual	\$161,000.00	

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 21. Pago anual/ Inversión

2016	2017	2018	2019	2020
\$36,000.00	\$27,000.00	\$18,000.00	\$9,000.00	\$ -
\$200,000.00	\$150,000.00	\$100,000.00	\$50,000.00	\$ -
\$240,000.00	\$180,000.00	\$120,000.00	\$60,000.00	\$ -
\$128,000.00	\$96,000.00	\$63,000.00	\$32,000.00	\$ -
\$20,000.00	\$10,000.00			

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 22. Inversión fija

	Cantidad	Costo unitario	Costo
Terreno		\$500,000.00	\$500,000.00
Capital de trabajo		\$5,500.00	\$5,500.00
bombas	3	\$1,500.00	\$4,500.00
		Total	\$510,000.00

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 23. Crédito

2021	2022	2023	2024	2025
\$436,326.30	\$349,061.04	\$261,795.78	\$174,530.52	\$87,265.26
\$87,265.26	\$87,265.26	\$87,265.26	\$7,265.26	\$7,265.26
\$17,435.05	\$17,453.05	\$17,453.05	\$17,453.05	\$17,453.05
\$104,718.31	\$104,718.31	\$104,718.31	\$104,718.31	\$104,718.31

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 24. Ingresos

Capital de trabajo del último año	Precio mensual	anual
Venta de lodos	\$25,000.00	\$300,000.00
Venta de agua para riego	\$100,000.00	\$1,200,000.00
Venta de agua para procesos industriales indirectos	\$80,000.00	\$960,000.00
	Ingreso anual	\$2,460,000.00

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 25. Egresos

Costos variables	Precio anual	Anual
Costo de materia prima	\$5,500.00	\$66,000.00

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 26. Sueldos y otros gastos

Mano de obra			
Jefe	1	\$25,000.00	\$300,000.00
Ingeniero	2	\$15,000.00	\$360,000.00
Tecnico	1	\$10,000.00	\$120,000.00
Obrero	4	\$5,000.00	\$240,000.00
		Total	\$1,020,000.00
	Mano de obra de supervisión	Total	\$153,000.00
	Mantenimiento y operación	Total	\$15,300.00

	Suministro de operación	Total	\$2,295.00
	Costos fijos		
	Seguros	Total	\$5,100.00
	Gastos generales		
	Varios o imprevistos	Total	\$35,700.00
	Total de egresos		\$1,297,395

Fuente: Autoría propia 2022

Estudios de impacto ambiental

En este apartado se identifican los posibles impactos ambientales que podrían suscitarse tanto en la etapa constructiva como operativa a consecuencia de la construcción de la PTAR. La mayor parte de los impactos positivos identificados se dan en la etapa de operación de la PTAR y los impactos negativos se darán en la etapa pre-constructiva y constructiva.

De acuerdo con la selección del terreno para la construcción de la PTAR, el área de influencia es la extensión superficial donde el proyecto afecta al medio ambiente significativamente, y se compone de área de influencia directa e indirecta, así tenemos:

Área de Influencia Directa:

El área de influencia directa está definida por aquella que sufra transformaciones ambientales o socioeconómicas directas, debido a las diferentes actividades en la etapa de operación de la planta.

- Del análisis inicial de los impactos potenciales directos que podrían ocurrir por las actividades de la planta, el área de influencia directa se tomó a partir del sitio donde se construirán las instalaciones y toda la infraestructura de la planta de tratamiento.

Área de Influencia Indirecta:

El área de influencia indirecta se produce, en general, como reacción a los cambios en los componentes ambientales debido a los impactos en el área de influencia directa; es decir, es el área en el que se manifiestan los impactos indirectos o inducidos.

- Para la definición del área de influencia indirecta se ha considerado un radio espacial desde el límite del área de influencia directa hasta unos 100 metros radiales, en los cuales se encuentran terrenos baldíos. Sin embargo, desde el punto de vista social se considera el fraccionamiento aledaño de la planta, así como el municipio de Coacalco como tal, por los beneficios que implica la operación del sistema.

Medio Físico

El municipio de Coacalco de Berriozábal se encuentra en la región norte-central en el Estado de México. Se localiza a una distancia de 85 kilómetros de la capital del estado. De acuerdo a lo que señala el mapa general de la República Mexicana, el municipio de Coacalco de Berriozábal limita al norte con el municipio de Tultitlán, al sur con Ecatepec y el Distrito Federal, al oriente también limita con Ecatepec y finalmente al poniente continúa limitando con el municipio de Tultitlán.

El municipio de Coacalco de Berriozábal está formado por una extensión territorial de 35.5 kilómetros cuadrados y se encuentra a una altura promedio de 2,238 metros sobre el nivel del mar. Por otro lado, el Instituto Nacional de Estadística y Geografía informó que los resultados del tercer conteo de población que hizo en el 2015 en el municipio de Escobedo, está formado por una población total de 278,203.

De acuerdo con las características de su relieve, forma parte de la Sierra de Guadalupe y es el único cuerpo montañoso que se ubica en el municipio. Debido a que la superficie municipal presenta altas pendientes hacia la parte sur del municipio (Sierra de Guadalupe), la zona intermedia entre esta zona y la vía López Portillo representan la zona de transición entre la montaña y la parte lacustre (planicie). En general, estas condiciones orográficas permiten apreciar un sistema montañoso en la parte sur, con asentamientos humanos en el pie y la planicie, mismos que han ido ganando terreno a los usos agrícolas, consolidando así la estructura de los asentamientos humanos del municipio.

Hidrografía

El municipio forma parte de la Región Hidrológica del Alto Pánuco, canalizando los escurrimientos hacia el noreste. Dentro del territorio municipal no se localizan cuerpos de agua, haciendo presencia sólo los arroyos menores que bajan de la sierra de Guadalupe que en tiempos de lluvias provocan fuertes inundaciones sobre las calles; 16 de Septiembre, Morelos, Allende, Corregidora, Belisario Domínguez, en la Cabecera municipal, y sobre la vialidad López portillo, continuando sus desbordamientos hasta las inmediaciones del Dren Cartagena, agudizando el

problema en las colonias Bosques del Valle, Villa de las Flores, Jardines de San José, San Rafael Coacalco y el Potrero la Laguna principalmente, incluso en las partes más bajas del municipio hasta su límites norte con Tultepec y Tultitlán. En el municipio no cruzan ríos importantes, ya que únicamente es posible identificar algunos escurrimientos que se forman de las partes altas de la sierra de Guadalupe. El flujo pluvial que se genera es conducido al dren Cartagena, mismo que cruza al municipio en una extensión de 5.4 km, encontrándose en un 60% a cielo abierto. Son cuatro los canales naturales que recogen las aguas pluviales en la Sierra de Guadalupe que cruzan al municipio en sentido sur - norte, conduciendo su cauce hasta el canal Cartagena, que recorre al municipio en una extensión de 5.4 Km. de los cuales a la fecha se encuentra embovedado aproximadamente en un 40%. Existe una represa construida a finales de los años 80's, en una superficie de 2 has, en las faldas de la Sierra de Guadalupe con el propósito de captar los escurrimientos naturales de esta zona montañosa, sin embargo, se encuentra en observación por presentar algunas fisuras en sus muros de contención. En general, los acuíferos de la zona se encuentran bajo rocas andesitas y aluviones; por lo que se localizan pozos con profundidad promedio de 150 m.

Clima

Es el mismo que predomina en la región de Cuautitlán y Texcoco; subtropical templado semiseco o subhúmedo. Como características específicas, se da un promedio de 40 días al año con heladas, alrededor de 650 milímetros de lluvia al año y presenta una temperatura promedio anual de 14 °C, con mínima de 2 °C y máxima de 30°C.

Suelo

La estructura geológica que presenta el municipio de Coacalco se encuentra conformada principalmente por rocas ígnea extrusiva de tipo andesítico, que data de la era cenozoica, de los periodos terciario y cuaternario. El origen del sustrato geológico del valle es sedimentario, ya que está constituido de aluviones y rocas sedimentarias de arenisca, entremezclada con tobas volcánicas. Estos aluviones

fueron originados por el acarreo pluvial de los sedimentos de las partes altas de la sierra de Guadalupe, lo que ocasiona que en época de lluvias se generen grandes flujos de agua, ocasionado inundaciones y azolves del drenaje existente. Se identifican dos tipos de suelo que según su origen geológico son aluviones, que se forman a través del acarreo de las partes altas del municipio y suelos residuales, que se forman en el sitio. Las posibilidades de uso urbano de la estructura geológica del municipio son las siguientes: *f* Andesitas (ígneas extrusivas): de moderada a alta, su restricción se da por su ubicación en fuertes pendientes. *f* Tobas volcánicas: baja, su restricción se da por el deslizamiento de materiales. *f* Tobas: alta a moderada, su restricción se da por su ubicación en fuertes pendientes. *f* Aluviones: baja, su restricción es por la baja resistencia a la compresión. Edafología Se identifican dos tipos de suelo fundamentalmente en el territorio municipal: El Vertisol pelico de fase sódica y textura gruesa localizado en la región plana, presentando problemas para el desarrollo urbano, ya que en épocas de lluvias tiende a expandirse y al perder agua se vuelve a contraer. El Feozem aplico y calcáreo de textura media, localizado en la zona media del territorio municipal, en él se detectan dos grandes zonas: las de origen rocoso, con características aptas para las edificaciones, siendo su única limitante las pendientes en algunos casos muy pronunciadas y la segunda zona localizada al noroeste, presentando suelo calcáreo y corrosivo, que no constituyen una limitación para el desarrollo urbano, sin embargo por sus características se elevan los costos en las construcciones y obras de urbanización.

También se tiene feozem calcáreo de textura delgada, con presencia de piedra superficial, vulnerables a la erosión, refiriéndose a las zonas altas del territorio municipal, específicamente a la Sierra de Guadalupe.

Con relación al uso del suelo en nuestros días se encuentra distribuido de la siguiente manera (Tabla 16):

Tabla 27. Uso de suelo en Coacalco

Uso del suelo	Hectáreas	Porcentaje
Agrícola	651	18.34
Pecuario	355	9.99

Forestal	691	19.48
Urbano	1,669	47.00
Otros	184	5.19

Fuente: INEGI

Medio Biótico

La característica del ecosistema, la flora y fauna que conforman el medio biótico del municipio de Coacalco de Berriozábal, corresponde a la del clima subtropical templado semi seco o subhúmedo.

Flora

El proceso de urbanización ha cambiado el entorno del actual municipio de Coacalco. En la sierra de Guadalupe todavía pueden encontrarse plantas de tipo xerófilas que resisten la escasez de agua como: maguey, cactus, biznaga, nopalillo, quelite, entre otros. Con relación a los árboles se encuentran: Encino, pirul, eucalipto, fresno, pino, cedro y otros en menos proporción. El clima de la región favorece el cultivo de casi todo tipo de plantas y árboles frutales.

Fauna

De igual forma, debido a la urbanización han desaparecido los animales silvestres; en la sierra de Guadalupe podemos encontrar algunos mamíferos: conejo, ardilla, tusa y ratón de campo. Entre las aves: lechuza, gorrión, zenzontle, chillón, golondrina. Un ave migratoria llamada avión garza o grulla, llega en pequeñas parvadas a los grandes baldíos, a pesar de que su hábitat ha quedado casi destruido. Entre los reptiles podemos mencionar: al sincuate, víbora de cascabel, hocico de puerco, escorpión, camaleón y lagartija.

Por demás importante hacer mención que la sierra de Guadalupe ha sido declarada reserva ecológica.

Medio Socioeconómico

Crecimiento poblacional:

De acuerdo con la información censal de 1970 - 2016, se observa que de 1970 a 2000 el municipio ha mantenido una Tasa de Crecimiento Media Anual (TCMA) superior a la referida por Estado (5.40 contra 3.17 respectivamente); Sin embargo, para el periodo de 2016 incrementó notablemente su tasa crecimiento, siendo superior a la estatal. De acuerdo con este comportamiento, se observa que la población municipal pasó de 204,674 habitantes en 1995, a 252,555 para 2000, lo que refiere un incremento neto de 47,881 habitantes. A nivel estatal se presentó un incremento poblacional moderado, alcanzando 1,897,851 habitantes, con una tasa de crecimiento del 3.14%; tendencia contraria a la presentada por el municipio, ya que su tasa de crecimiento media anual fue mayor con un 5.57%, significando una población total de 3,984 habitantes.

Población Económicamente Activa:

De acuerdo con la información del Censo General de Población y Vivienda de 1990, se observa que la población económicamente activa (12 años y más) alcanzó una cifra de 48,802 trabajadores, que correspondieron al 32.08% de la población total registrada en este año. Para el año 2000, la población económicamente activa representó el 36.64% de la población total, situación que de acuerdo al periodo anterior, presenta un incremento de población económicamente activa de 4.56 puntos porcentuales, comprendiendo una PEA total de 92,529 habitantes. Finalmente, para el periodo de 2016, la distribución de la PEA por sector de actividad presentó la siguiente estructura: 67.41% el sector terciario, 26.21% el sector secundario y el primario representa sólo el 0.24%. Demostrando que la actividad preponderante del municipio es la referida con el sector de comercio y servicios.

Análisis de riesgos naturales e inducidos

Tratamiento de aguas residuales:

Refiriéndose al tratamiento de aguas residuales, se cuenta a la fecha con la operación de una planta y una en proceso de terminación, ubicada en Rancho la Palma, haciendo especial énfasis en la requerida para captar las aguas residuales de las zonas industriales.

Escurrimientos y canales de agua

Los escurrimientos naturales de aguas pluviales procedentes de la Sierra de Guadalupe deben ser saneados ya que se encuentran contaminados por la mezcla de descargas domiciliarias y convertidos en basureros, principalmente cuando no es época de lluvias. El cauce natural del Canal Cartagena se encuentra entubado aproximadamente en un 40% de su longitud; sin embargo debe preverse la captación de aguas pluviales que a este concluyen procedentes de la Sierra de Guadalupe, a fin de evitar su posible desbordamiento. En época de lluvias, los escurrimientos naturales del Parque Sierra de Guadalupe ocasionan saturaciones en los drenajes de la parte sur del municipio ocasionando fuertes desbordamientos en las redes de drenaje, siguiendo su trayecto natural hasta de la parte baja del municipio hasta el Dren Cartagena, aumentando con ello su caudal natural agudizando el problema en esta parte del municipio.

Las aguas de los cuatro grandes escurrimientos naturales que bajan de la Sierra de Guadalupe hasta su intersección con el Dren Cartagena son contaminadas en este punto por las aguas residuales que este conduce.

Contaminación:

Los principales factores que originan la contaminación del aire son los que proceden fundamentalmente de la combustión de gases generados por la industria (aunque en menor escala se identifica en Coacalco), misma que se ve impactada por la zona industrial de Ecatepec, y la segunda ocasionada por las fuentes móviles, que incluyen las unidades particulares y de transporte público. En cuanto a la contaminación del suelo se refiere, la constituye principalmente el uso inadecuado del tiradero de desechos sólidos municipales, ubicado en las inmediaciones sur-oriente de la Sierra de Guadalupe y al que diariamente llegan del orden de 339 toneladas de basura sin

contar con las técnicas adecuadas que eviten la contaminación del subsuelo natural, por otro lado se estima que este sitio tiene una vida útil de 4 años, demandando con ello prever sitios de disposición final alternos.

Riesgos:

En el municipio de Coacalco existen varias zonas de riesgo, las cuáles se clasifican según la dirección general de Protección Civil del GEM en cinco categorías, las cuales son:

Riesgos socio-organizativos: Estos son los que se generan por una inadecuada administración por parte de las autoridades federales, estatales y municipales o la población, pero que debido a la falta de señalamientos y restricciones generan problemas tanto para los habitantes, como para las autoridades, representando un riesgo para el bienestar de la población. Los riesgos que podemos encontrar en el municipio de este tipo son: las reducidas secciones de las vialidades principales del municipio, que son utilizados para estacionamientos y por los establecimientos comerciales ubicados a orillas de las vialidades principales, provocando accidentes viales. Además, este riesgo se genera por la invasión de derechos de vía de las líneas de alta tensión, los cuales no son respetados por los habitantes de las áreas colindantes de las torres de conducción. En general, las principales zonas de riesgo del municipio están localizadas en la zona norte del municipio, siendo estas: Las líneas de Alta Tensión, que se localizan en la parte norte del municipio, en sentido oriente-poniente; una de ellas paralela al canal Cartagena y la segunda que afectan principalmente a las colonias: de Bosques del Valle 1ª. Secc., Villa de las Flores 2ª. Secc, Jardines de Sn. José 1ª, El Pantano, San Rafael Coacalco 2ª. Secc., Unidad Morelos, El Potrero La Laguna 1ª y 2ª Secc. y el Potrero.

Riesgos Hidrometeorológicos: Son ocasionados por eventos climatológicos no comunes e inesperados, en el municipio los más frecuentes son: Las zonas de inundación surgen por dos causas, la primera corresponde al establecimiento de asentamientos humanos en las partes planas con pendientes de 0 a 2%, ubicados al nororiente del municipio; situación que lleva al drenado lento que en caso de lluvias

extraordinarias no tiene capacidad para dar salida al escurrimiento. Los provocados por los deslaves y desprendimientos de rocas de la Sierra de Guadalupe, acentuándose más en épocas de lluvias, pues junto con los desbordamientos de las corrientes pluviales que bajan hasta la zona plana del municipio, atravesando la vialidad López Portillo, constituyen un factor importante para la provocación de desastres tanto en las zonas habitacionales, como en la vialidad de carácter regional (Tabla 27).

Tabla 28. Riesgos hidrometereológicos

HIDROMETEOROLÓGICOS	Lluvias torrenciales	
	Trombas	
	Granizadas	
	Heladas	
	Inundación	

Fuente: Dirección General de Protección Civil. Atlas de Riesgos del Estado de México.

Riesgos Geológicos: Son provocados por las alteraciones en el subsuelo como grietas y fracturas, entre otros. En el municipio no se cuenta con este tipo de riesgos. Sin embargo, un problema secundario generado por estos elementos, que, combinado con la lluvia, es el desplazamiento del suelo (derrumbes y deslaves) como se muestra en la tabla 28. Este se presenta principalmente en la zona donde se ubica la presa Xochitla, por ser el punto culminante de la Sierra de Guadalupe, por lo que un derrumbe o desbordamiento, provocaría daños a la zona urbana inmediata.

Tabla 29. Riesgos geológicos

GEOLOGICOS	Sismicidad	
	Edificios volcánicos	
	Fallas	
	Fracturas	
	Agrietamientos superficiales	
	Zonas minadas y colapsos	
	Hundimientos y asentamientos	
	Deslizamiento y fallamiento en suelos y rocas	
	Perdida de la capa edáfica	

Fuente: Dirección General de Protección Civil. Atlas de Riesgos del Estado de México.

Riesgos sanitarios: Son originados por áreas o focos de contaminación. Los más representativos en el municipio son la descarga de aguas residuales sin previo tratamiento a los escurrimientos y colectores de drenaje del municipio (dren Cartagena). De manera específica, en el dren Cartagena, localizado en la zona norte del municipio y con una trayectoria oriente - poniente, en época de lluvias concurren los escurrimientos naturales de la Sierra de Guadalupe, ocasionando desbordamientos que ponen en riesgo a los habitantes de las unidades habitacionales de Bosques del Valle 2ª. Secc., Lomas del Sol, Villa de las Flores 1ª y 2ª Secc, Las Dalias, Jardines de San José 1ª y 2ª Secc, El Pantano, San Rafael Coacalco 1ª y 2ª Secc, Unidad Morelos, El potrero la laguna 1ª. Secc. y El Potrero (Tabla 28).

Tabla 30. Riesgos sanitarios

SANITARIOS	Contaminación aire fuentes fijas	
	Contaminación aire fuentes móviles	
	Contaminación agua descargas	
	Contaminación agua agroquímicos	
	Erosión suelo	
	Deforestación	
	Contaminación suelo	
	Daños a la flora	
	Daños a la fauna silvestre	
	Epidemias	
	Plagas	

Fuente: Dirección General de Protección Civil. Atlas de Riesgos del Estado de México.

Riesgos Químicos: Se originan por el paso sobre el territorio municipal de conductos de gas, petroleros, gasolinas, sustancias químicas, industria de riesgo, etc. En el municipio estos riesgos se encuentran referidos a la ubicación de gasolineras, así como también por el cruce de ductos de Pemex. Este riesgo se constituye al urbanizar u ocupar los espacios inmediatos donde las líneas están tendidas y sobre todo al no respetar los derechos de vía de esta red (Tabla 29). Las líneas de conducción del gasoducto de PEMEX, localizadas en la zona norte del municipio, cruzándolo en sentido oriente-poniente, el primero de ellos afecta principalmente a la población de las unidades habitacionales de Bosques del Valle 1ª Secc, Los Periodistas, Villa de las Flores 1ª y 2ª Secc, Jardines de San José 1ª Secc, El Pantano, Parte del poblado de Sta. Ma. Magdalena, San Lorenzo Tetliltac y Rinconada Coacalco. Y el segundo casi paralelo a la vialidad J. López Portillo en el lado poniente, entroncándose con la primera línea a la altura del extremo sur de la unidad habitacional Villa de las Flores 2ª Secc. Otros de los elementos que constituyen riesgos para la población son las gasolineras ubicadas sobre la vía López Portillo, ya que de no existir una continua vigilancia sobre el uso adecuado de estos elementos, provocarían infiltraciones o derrames sobre los drenajes principales, trayendo como consecuencia posibles desastres ocasionados por la inflamación o explosiones, cuya magnitud dependería del grado de concentración de estos elementos.

Tabla 31. Riesgos químicos

QUÍMICOS	Incendios urbanos	
	Incendios industriales	
	Incendios forestales	
	Establecimientos de explosivos	
	Industria de riesgo	
	Entidades que manejan material radioactivo	
	Fugas de sustancias peligrosas	
	Explosiones	
	Gaseras	
	Gasolineras	
	Ductos PEMEX	

Fuente: Dirección General de Protección Civil. Atlas de Riesgos del Estado de México.

Descripción de las instalaciones (PTAR)

Superficie o área total de la planta

La planta dispone de una superficie total construida de 41.27 m², ocupado en su totalidad por un cárcamo, sedimentador primario, filtro biológico, sedimentador secundario y laboratorio.

Descripción del mecanismo de operación

Los sistemas de tratamiento de agua residual se utilizan generalmente en las zonas urbanas, frecuentemente utilizados por pequeños municipios y también por algunas industrias, en la creencia, errónea, por cierto, de que funcionan con muy poco mantenimiento. Si bien el mantenimiento no requiere mano de obra intensiva, sí necesita controlarse adecuadamente la biomasa de este, de manera que pueda lograr el objetivo primordial de sanear el efluente para ser volcado a los cuerpos receptores sin contaminar. Estos sistemas si no son correctamente mantenidos, transcurrido cierto tiempo de funcionamiento, comienzan a colapsar provocando sobrenadantes en superficie y emanaciones de olores desagradables. Esto a su vez, provoca el vuelco posterior a cursos de agua sin cumplir con los parámetros estipulados en las normativas vigentes.

Generalmente estos problemas se deben a dos temas fundamentales:

- El diseño y construcción
- La administración del sistema

Con respecto a la construcción, es particularmente importante, la forma en que ingresa el afluente y como son conectadas. En el diseño deben establecerse las profundidades correctas, a fin de lograr los sistemas biológicos adecuados en cada una de ellas. En cuanto a la administración, no basta con hacer simplemente un mantenimiento de limpieza, sino que es fundamental generar y conservar la biomasa

correcta. Los microorganismos en su proceso de degradación actúan como biopolímeros, formando flock que al precipitar, forma un lecho bacteriano.

El mantenimiento de la planta es muy sencillo, se debe tener una rejilla en la entrada de la primera fase, para remover los materiales sólidos y gruesos que se encuentran suspendidos en el agua que va ingresando al cárcamo, estos materiales pueden ser, papel, botes plásticos, trapos, tela y dependiendo de la distancia entre las barras de la rejilla, las excretas humanas pueden ser consideradas como sólidos gruesos. El sistema está compuesto inicialmente por un grupo de trampas que atrapan y separan los elementos sólidos no inherentes al diseño del sistema, en etapas siguientes el agua y sus residuos pasan a un sistema de tanques donde permanecen en contacto con el entorno, principalmente el aire, experimentando un proceso de oxidación y sedimentación, transformándose así la materia orgánica en otros tipos de nutrientes que pasan a formar parte de una comunidad diversa de plantas y ecosistema bacteriano acuático. Luego de este proceso, el agua superficial de las lagunas queda libre entre un 70 y un 85% de demanda química o biológica de oxígeno, los cuales son estándares apropiados para la liberación de estas aguas superficiales hacia la naturaleza de forma que en los tanques de oxidación también podemos encontrar una gran variedad de fauna.

Recomendaciones

- Se debe contar con un grupo de personal, ya sea para la vigilancia de los tanques o para la limpieza de las rejillas y limpieza de la acumulación de lodos en el fondo del filtro.
- Para las necesidades de este personal se deberá tener abundante agua limpia para el aseo, jabón, un botiquín, toallas desechables para evitar que las toallas de tela sean un foco de infecciones ya que estas podrían pasar un largo tiempo sin limpieza y teléfono celular para emergencias.

Impactos Ambientales

A continuación, se muestra un listado de posibles impactos ambientales que podrían ser afectados por el proyecto (Tabla 30).

Tabla 32. Impactos ambientales

COMPONENTE/ELEMENTO/INDICADOR AMBIENTAL			Si	No	Probable
FÍSICO	AGUA	Alteración de drenajes	X		
		Calidad del agua	X		
	AIRE	Generación de ruido	X		
		Emisión de partículas y polvo	X		
		Emisión de gases	X		
	SUELO	Cambio en el uso del suelo	X		
		Contaminación del suelo	X		
BIÓTICO	FLORA/FAUNA	Modificación del estrato vegetal	X		
		Molestias a la fauna	X		
HUMANO	COMUNIDAD	Generación de expectativas			X
		Quejas y reclamos			X
		Protestas y oposición de la comunidad			X
		Cambios en la calidad de vida de la población			X
	SALUD Y SEGURIDAD	Generación de empleos	X		
		Generación de riesgos sanitarios			X
		Riesgos de accidentes a terceros			X
		Accidentes laborales			X

Fuente: Autoría propia 2022

Los impactos ambientales que se generarán por la construcción de la obra global son en su gran mayoría temporales, ya que una vez que concluyan los trabajos de su ejecución desaparecerán y los beneficios ambientales y socioeconómicos para los habitantes serán permanentes y significativos, ya que conducirán las aguas servidas

de la población y evitará afectaciones a la salud pública eliminando los posibles focos de contaminación y la posible generación de vectores.

Con el fin de identificar y valorar los impactos ambientales negativos y positivos que se producirían por la construcción y operación del proyecto, se procedió a diseñar una matriz de impactos ambientales, en la que las actividades están enlistadas en las columnas y las mismas que constan de dos etapas:

- Actividades de construcción
- Actividades de operación y mantenimiento.

Se propone a continuación una matriz de Identificación de Impactos Ambientales en la que cada sitio de cruce entre una actividad de la obra y un indicador ambiental se analizó si existe relación causa – efecto o no. Se procedió a marcar con una “x” el respectivo punto de cruce entre la actividad e indicador ambiental, si se considera que existe relación causa - efecto. En la Tabla 31 se presentan los resultados de la evaluación de las interacciones identificadas. A continuación, se discutieron los resultados del llenado de dicha matriz en el seno de grupo interdisciplinario que trabaja en la formulación del presente estudio de impacto ambiental.

Tabla 33. Evaluación de las interacciones identificadas

ELEMENTO AMBIENTAL	INDICADOR AMBIENTAL	CONSTRUCCIÓN								OPERACIÓN	
		Campamento	Explotación de materiales	Transporte de Materiales	Disposición de material de desalojo	Limpieza y desbroce	Excavaciones	Relleno	Construcción de Infraestructura	Operación de Infraestructura	Mantenimiento de Infraestructura
AGUA	Contaminación drenajes	X			X						
	Calidad del agua	X			X					X	
AIRE	Generación de ruido		X	X	X		X	X	X		X
	Emisión de partículas y polvo	X	X	X	X	X	X	X	X		
	Emisión de gases	X	X	X			X	X	X		X
SUELO	Cambio en el uso del suelo	X					X	X	X		
	Contaminación del suelo	X	X		X		X		X	X	X
FLORA	Modificación del estrato vegetal	X				X	X	X	X		
	Molestias a la fauna	X			X	X	X	X	X	X	
HUMANO	Generación de expectativas	X		X					X		
	Quejas y reclamos			X					X	X	
	Protestas y oposición de la comunidad			X					X	X	
	Cambios en la calidad de vida									X	
	Generación de empleo	X	X			X	X	X	X	X	X
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios	X			X	X			X	X	X
	Riesgos de accidentes a terceros		X	X		X	X	X	X		
	Accidentes laborales	X		X		X	X	X	X	X	X

Fuente: Autoría propia 2022

Una vez identificados los impactos ambientales se procedió a la ejecución de la evaluación ambiental correspondiente, de las relaciones causa–efecto que podría ocurrir por la construcción y operación del sistema de alcantarillado sanitario. Para la valoración de los impactos se empleará un método matricial de amplia práctica en el país para diversos tipos de proyectos, que es la Matriz Ambiental la que puede utilizarse de diferentes formas con el propósito de visualizar y valorar los efectos ambientales de cualquier acción o conjunto de acciones que implican un determinado desarrollo. La matriz está estructurada sobre la base de las interacciones de las principales acciones propuestas en la memoria de ingeniería y los componentes (elementos, indicadores y parámetros) ambientales. Cada interacción será calificada de acuerdo con el siguiente criterio: “Establecer y determinar los impactos que generan los mayores efectos negativos, ordenarlos de acuerdo a su grado de importancia, obtenido de la jerarquización de los mismos, a efectos de proceder a su mitigación y control, mediante la aplicación de medidas ambientales protectoras”. Se evalúan los efectos ambientales que se producirán durante la etapa de construcción del proyecto, y se efectúa el análisis de los impactos que tendrán lugar por la operación del proyecto.

Tabla 34. Etapa de construcción

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	2	5	5	1.6	2.52	Compatible	Corto plazo
	Calidad del agua	Negativo	Temporal	Directo	Alta	1	5	2	5	10	2.8	4.06	Moderado	Mediano plazo
	Generación de ruido													
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.66	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.66	Moderado	Corto plazo
	Cambio en el uso del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.66	Moderado	Corto plazo
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.66	Moderado	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal	Negativo	Permanente	Directo	Alta	2	2	2	10	10	2.0	3.81	Moderado	Mediano plazo
	Molestias a la fauna	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	10	2.0	3.31	Compatible	Mediano plazo
HUMANO	Generación de expectativas	Positivo	Temporal	Indirecto	Media	1	2	2	5	5	1.6	2.52	Compatible	Corto plazo
	Quejas y reclamos													
	Protestas y oposición comunidad													
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo	Positivo	Temporal	Directo	Media								Positivo	Corto Plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.66	Moderado	Corto plazo
	Riesgos de accidentes a terceros													
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	5	5	2.6	3.38	Moderado	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 35. Explotación de fuentes materiales

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua													
	Generación de ruido	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.54	Moderado	Corto plazo
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	10	2	2	10	5.2	4.74	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	5	2	2	10	3.2	3.54	Moderado	Corto plazo
	Cambio en el uso del suelo													
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	10	5	5	3.2	3.83	Moderado	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal													
	Molestias a la fauna													
HUMANO	Generación de expectativas													
	Quejas y reclamos													
	Protestas y oposición comunidad													
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo	Positivo	Temporal	Directo	Alta								Positivo	Corto Plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios													
	Riesgos de accidentes a terceros													
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	5	5	5	3.0	3.68	Moderado	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 36. Transporte de materiales

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua													
	Generación de ruido	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	10	2	2	10	4.8	4.52	Moderado	Corto plazo
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	10	2	5	5	4.8	4.88	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	10	2	5	5	4.8	4.88	Moderado	Corto plazo
	Cambio en el uso del suelo													
	Contaminación del suelo													
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal													
	Molestias a la fauna													
HUMANO	Generación de expectativas	Negativo	Temporal	Directo	Alta	1	2	2	5	5	1.6	2.52	Compatible	Corto plazo
	Quejas y reclamos	Negativo	Temporal	Directo	Alta	1	2	2	5	5	1.6	2.52	Compatible	Corto plazo
	Protestas y oposición comunidad	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	5	5	5	2	4.2	3.82	Moderado	Corto plazo
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo													
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios													
	Riesgos de accidentes a terceros	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	10	5	5	2	6.2	4.82	Moderado	Mediano plazo
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	5	5	5	2	4.2	3.82	Moderado	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 37. Disposición de material de desalojo

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	10	2.2	3.46	Moderado	Corto plazo
	Calidad del agua	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	2	5	10	1.6	2.86	Compatible	Corto plazo
	Generación de ruido	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	2	5	10	1.6	2.86	Compatible	Corto plazo
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	10	2.2	3.46	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases													
	Cambio en el uso del suelo													
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	5	10	2.6	3.83	Moderado	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal													
	Molestias a la fauna	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	10	5	2.6	3.93	Moderado	Corto plazo
HUMANO	Generación de expectativas													
	Quejas y reclamos													
	Protestas y oposición comunidad													
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo													
	Generación de riesgos sanitarios	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	5	2	5	5	3.2	3.83	Moderado	Mediano plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Riesgos de accidentes a terceros													
	Accidentes laborales													

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 38. Limpieza y desbroce

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua													
	Generación de ruido													
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	10	2.2	3.46	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases													
	Cambio en el uso del suelo													
	Contaminación del suelo													
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal	Negativo	Permanente	Directo	Alta	3	2	10	10	10	4.0	5.77	Severo	Largo plazo
	Molestias a la fauna	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	10	5	10	4.0	4.95	Moderado	Mediano plazo
HUMANO	Generación de expectativas													
	Quejas y reclamos													
	Protestas y oposición comunidad													
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo	Positivo	Temporal	Directo	Alta								Positivo	Corto plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios													
	Riesgos de accidentes a terceros													
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	5	5	5	3.0	3.68	Moderado	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 39.Excavación

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua													
	Generación de ruido	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	5	5	5	5	3.4	3.97	Moderado	Corto plazo
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	5	5	5	5	3.4	3.97	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	5	5	5	5	3.4	3.97	Moderado	Corto plazo
	Cambio en el uso del suelo	Negativo	Permanente	Directo	Alta	3	2	10	10	10	4.0	5.77	Severo	Largo plazo
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	10	5	5	2	6.2	4.82	Moderado	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal	Negativo	Permanente	Directo	Alta	3	2	10	10	10	4.0	5.77	Severo	Largo plazo
	Molestias a la fauna	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	10	5	2.6	3.93	Moderado	Corto plazo
HUMANO	Generación de expectativas													
	Quejas y reclamos													
	Protestas y oposición comunidad													
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo	Positivo	Temporal	Directo	Alta								Positivo	Corto plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios													
	Riesgos de accidentes a terceros	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	10	5	5	2	6.2	4.82	Moderado	Mediano plazo
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	1	2	5	5	5	2.2	3.06	Compatible	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 40. Construcción de infraestructura

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua													
	Generación de ruido	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	10	2.2	3.46	Moderado	Corto plazo
	Emisión de partículas y polvo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	10	2.2	3.46	Moderado	Corto plazo
	Emisión de gases	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	10	2.2	3.46	Moderado	Corto plazo
	Cambio en el uso del suelo	Negativo	Permanente	Directo	Media	1	5	5	5	5	3.4	3.97	Moderado	Largo plazo
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	1	2	5	5	5	2.2	3.06	Compatible	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal	Negativo	Permanente	Directo	Alta	3	2	10	10	10	4.0	5.77	Severo	Largo plazo
	Molestias a la fauna	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	10	2.0	3.27	Compatible	Mediano plazo
HUMANO	Generación de expectativas	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	2	5	5	2.4	3.22	Compatible	Corto plazo
	Quejas y reclamos	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	5	2.0	2.89	Compatible	Corto plazo
	Protestas y oposición comunidad	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	5	2.0	2.89	Compatible	Corto plazo
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo	Positivo	Temporal	Directo	Alta								Positivo	Corto plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	2	5	5	2.4	3.22	Compatible	Mediano plazo
	Riesgos de accidentes a terceros	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	2	5	5	2.4	3.22	Compatible	Mediano plazo
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	1	2	5	5	5	2.2	3.06	Compatible	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 41. Etapa de operación

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua	Negativo	Temporal	Directo	Media	3	2	2	5	10	2.4	3.65	Moderado	Mediano plazo
	Generación de ruido													
	Emisión de partículas y polvo													
	Emisión de gases													
	Cambio en el uso del suelo													
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	3	2	2	5	10	2.4	3.65	Moderado	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal													
	Molestias a la fauna	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	10	2.0	3.27	Compatible	Corto plazo
HUMANO	Generación de expectativas													
	Quejas y reclamos	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	5	2.0	2.89	Compatible	Corto plazo
	Protestas y oposición comunidad	Negativo	Temporal	Directo	Alta	2	2	2	5	5	2.0	2.89	Compatible	Corto plazo
	Cambios en calidad de vida	Positivo	Permanente	Directo	Alta								Positivo	Largo plazo
	Generación de empleo	Positivo	Permanente	Directo	Alta								Positivo	Largo plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	5	2	5	5	3.6	4.11	Moderado	Mediano plazo
	Riesgos de accidentes a terceros													
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	5	5	5	3.0	3.68	Moderado	Mediano plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Tabla 42. Etapa de Mantenimiento

MEDIO	COMPONENTE AMBIENTAL	Carácter Genérico	Duración	Tipo de Efecto	Importancia	Intensidad	Extensión	Plazo	Reversibilidad	Riesgo	Magnitud	VIA	Dictamen	Recuperación
FÍSICO	Contaminación de drenajes													
	Calidad del agua													
	Generación de ruido	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	5	10	2.6	3.83	Moderado	Corto plazo
	Emisión de partículas y polvo													
	Emisión de gases	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	5	10	2.6	3.83	Moderado	Corto plazo
	Cambio en el uso del suelo													
	Contaminación del suelo	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	5	5	2.6	3.38	Moderado	Mediano plazo
BIÓTICO	Modificación del estrato vegetal													
	Molestias a la fauna													
HUMANO	Generación de expectativas													
	Quejas y reclamos													
	Protestas y oposición comunidad													
	Cambios en calidad de vida													
	Generación de empleo	Positivo	Temporal	Directo	Alta								Positivo	Corto plazo
SALUD Y SEGURIDAD	Generación de riesgos sanitarios	Negativo	Temporal	Directo	Media	2	2	5	5	10	2.6	3.83	Moderado	Corto plazo
	Riesgos de accidentes a terceros													
	Accidentes laborales	Negativo	Temporal	Directo	Alta	3	2	5	5	5	3.0	3.68	Moderado	Corto plazo

Fuente: Autoría propia 2022

Análisis, dictamen y jerarquización de los impactos.

En total se identificaron y evaluaron 80 interrelaciones causa – efecto ambiental, entre positivas y negativas, la cantidad específica de cada una de ellas se indica a continuación:

- Positivas: 8
- Negativas: 72

De los 8 impactos positivos evaluados, se afectan al medio Humano; específicamente en lo referente a generación de empleo y cambios en la calidad de vida.

De los 72 impactos negativos identificados se afectará a cada medio en las siguientes cantidades:

- Físico: 4
- Biológico: 12
- Humano: 11
- Salud y Seguridad: 15

Los 72 negativos identificados, han sido evaluados conforme a su dictamen en la siguiente forma:

- Impactos Compatibles: 23
- Impactos Moderados: 44
- Impactos Severos: 5

De los treinta y cuatro impactos que afectan al medio físico se registran las siguientes cifras por dictamen:

- Impactos compatibles: 7
- Impactos moderados: 26
- Impactos severos: 1

De los doce impactos que afectan al medio biótico, por dictamen se subdividen en:

- Impactos compatibles: 3
- Impactos moderados: 5
- Impactos severos: 4

De los once impactos que afectan al medio humano se registran las siguientes determinaciones por dictamen:

- Impactos compatibles: 8

- Impactos moderados: 3

De los quince impactos que afectan al medio, salud y seguridad se registran los siguientes determinados por dictamen:

- Impactos compatibles: 5
- Impactos moderados: 10

Evaluación de los impactos y medidas de mitigación

Contaminación de Drenajes:

Durante la etapa de construcción del proyecto, el drenaje de aguas freáticas alterará la condición de los drenajes naturales existentes en el área de influencia, este impacto será temporal y afectará en forma moderada y compatible la calidad del agua del drenaje. No existe medida de mitigación aplicable.

Calidad del Agua:

Durante la etapa de construcción se generarán algunas descargas de aguas residuales, que modificarán la calidad del agua natural, por lo que se se evitará la descarga a cualquier cuerpo receptor. Durante la etapa de operación las aguas tratadas serán descargadas al cuerpo receptor pero esta afectación será temporal y moderada, conforme se analizó en la matriz ambiental para la evaluación de los impactos. Las medidas de mitigación serán las siguientes:

- Instalación de cabañas sanitarias para la etapa de construcción.
- Controlar la calidad del efluente tratado antes de ser descargo.

Generación de Ruido:

El ruido es un factor ambiental que será alterado por diversas acciones y actividades del proyecto, específicamente durante la etapa de construcción se emplearán equipos,

maquinarias y volquetas para transporte de materiales, etc., que incrementarán los niveles de ruido existentes en el área de influencia del proyecto. Serán afectados los propios trabajadores de la construcción. Durante la operación los niveles de ruido serán moderados debido a las actividades propias de los sistemas de impulsión que se implementarán para la conducción de aguas servidas.

Las medidas de mitigación para la etapa de operación serán:

- Mantener y calibrar la maquinaria adecuadamente para reducir la cantidad de ruido.
- Dotar de equipo de protección personal para ruido a los trabajadores de la construcción.

Emisión de Partículas y Polvo:

La ejecución de la obra generará emisiones de polvo, que incidirán mediante el incremento de concentraciones de material particulado en el aire del área de influencia del proyecto. El polvo será producido por la presencia de áreas abiertas y de ciertas actividades en la etapa de construcción como limpieza, desbroce, excavaciones, relleno, etc. La medida de mitigación para la etapa de operación será:

- Humedecimiento continuo de las áreas abiertas

Emisión de Gases de Combustión:

En la etapa de construcción la actividad de maquinaria pesada, equipos y volquetas requiere de la utilización de combustibles que finalmente generarán los gases de combustión que alterarán en forma negativa la calidad del aire, se trata de acciones temporales y de magnitud moderada. Durante la etapa de operación no se prevé la operación de maquinarias que originen gases de combustión, por lo que se descarta este tipo de impacto. La medida de mitigación que se debe implantar es:

- Calibración de la maquinaria pesada, equipos y volquetas para reducir la emisión de gases de combustión.

Cambio de uso de suelo:

De acuerdo con el uso de suelo, la construcción no alterará los usos indicados. No existe medida de mitigación factible de ser aplicada.

Contaminación de suelo:

En la etapa de construcción se podría contaminar el suelo en el área de influencia directa ambiental por el derrame de aceites y grasas, o por el vertimiento accidental de productos químicos que se utilizan en la construcción como aditivos para la preparación de hormigones, etc., en zonas como campamento y explotación de materiales. En la etapa de operación se podrían contaminar los suelos por una inadecuada disposición de lodos provenientes de la planta de tratamiento residual del laboratorio. Las medidas de mitigación en la etapa de construcción serán las siguientes:

- Ejecución de un sistema de almacenamiento y disposición final de aceites y grasas usadas.
- Formulación de un plan de contingencia para el caso de derrames de productos químicos.
- Disponer los residuos peligrosos.

Modificación del Estrato Vegetal:

Para que se ejecuten las actividades constructivas del proyecto, será necesario remover algunos individuos de flora existentes en el área de influencia del proyecto y que fueron identificados en los apartados anteriores. Cabe indicar que se trata de especies nativas no significativas que incluso podrán ser desechadas, las que se encuentren más lozanas sí es decisión del proponente estas podrán ser reubicadas. En consecuencia, la medida de mitigación será:

- Reubicación de especies vegetales en caso de que sea requisito del promotor o desechadas cuando se trata de especies no nativas.

Fauna:

En la etapa de construcción se van a ejecutar actividades que ocasionarán molestias a la fauna existente en el área de influencia como aves y lagartijas. En la etapa de operación estas mismas especies se verán atraídas por estos espacios y se acostumbrarán a los mismos sin complicaciones. No es factible practicar medida de mitigación alguna.

Generación de expectativas:

El conocimiento de que se ejecutará la construcción del proyecto, de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales, ya ha generado expectativas en sus habitantes ya que el mismo ha sido puesto en conocimiento por las autoridades a los ciudadanos y su ejecución permitirá crear fuentes de trabajo. La medida de mitigación que se deberá ejecutar será:

- Informar de manera eficaz sobre el desarrollo del proyecto a los habitantes y autoridades municipales.
- Realizar procesos de participación e integración de los beneficiarios en la ejecución, verificación y cumplimiento de los propósitos del proyecto.

Quejas y reclamos:

Podrían generarse quejas y reclamos específicos por aspectos como accidentes de tránsito ocasionados por volquetas y maquinarias de la empresa Contratista en la ejecución de la obra, generación ruido, polvo etc., en el área de influencia directa ambiental del proyecto, puesto que se alterarán las normales en la vida de los habitantes. La medida de mitigación que se deberá ejecutar será:

- Realizar procesos de participación e integración de los beneficiarios en la ejecución, verificación y cumplimiento de los objetivos del proyecto.

Generación de riesgos sanitarios:

Una mala disposición de las aguas residuales domésticas tratadas, podría contaminar la capa freática, entre otros factores, como el mal manejo de productos químicos y biológicos, podrían constituirse en una fuente de riesgos sanitarios que podrían afectar a las personas que trabajarán en el proyecto en su etapa de operación. La medida de mitigación que se deberá ejecutar será:

- Ejecutar acciones de buena disposición de residuos sólidos y control de drenajes para evitar contaminación de aguas freáticas.
- Cumplir con la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Riesgos de accidentes a terceros:

La movilización y operación de la maquinaria pesada y volquetas que prestarán servicios en la construcción del proyecto implican riesgos de generación de accidentes que podrían afectar a terceras personas. En principio no deberían suscitarse accidentes, pero siempre existe una posibilidad de que estos ocurran.

La medida de mitigación ambiental que se deberá ejecutar es:

- Contratación de un seguro de riesgos para terceros.

Riesgos de accidentes laborales:

La salud ocupacional tiene un alto potencial de afectación por varias de las actividades que se desarrollarán para la construcción del proyecto. Las actividades que generarían la afectación son las siguientes: transporte de materiales, excavaciones, instalaciones eléctricas, instalaciones mecánicas, operación y mantenimiento de la planta de tratamiento de aguas residuales. Las medidas de mitigación aplicables son las siguientes:

- Dotación de los equipos de protección personal.

- Cursos de capacitación para los trabajadores sobre seguridad e higiene laboral y asuntos ambientales inherentes a sus labores.

En conclusión, se muestra en la Tabla 41, los impactos ambientales mencionados anteriormente con su respectiva medida de mitigación.

Tabla 43. Impactos y medidas de mitigación ambientales

MEDIDA AMBIENTAL IDENTIFICADA	ETAPA	IMPACTO AMBIENTAL MITIGADO
Instalación de cabañas sanitarias	Construcción	Contaminación de agua
Calibración de equipos, maquinaria y volquetas	Construcción	Contaminación del aire y ruido
Dotación de Equipos de Protección Personal	Construcción	Daños a la salud de los trabajadores
Humedecimiento de áreas abiertas	Construcción	Contaminación del aire
Formulación de Plan de Contingencia para derrames de productos peligrosos	Diseño	Contaminación del suelo
Señalización con letreros preventivos de salida de maquinaria pesada y volquetas.	Construcción	Accidentes de tránsito
Capacitación a los conductores para evitar accidentes.	Construcción	Accidentes de tránsito
Información sobre el desarrollo del proyecto	Construcción	Oposición a la ejecución del proyecto
Realizar procesos de participación	Construcción	Oposición a la ejecución del proyecto
Contratación de un seguro de riesgos para terceros	Construcción	Daños a terceras personas
Disposición adecuada de residuos sólidos	Construcción	Daños a la salud de las personas
Capacitación para los trabajadores sobre seguridad laboral y temas ambientales	Construcción y Operación	Accidentes laborales

Fuente: Autoría propia 2022

Seguridad e higiene industrial

La PTAR está comprometida a desarrollar sus actividades y operaciones salvaguardando la integridad de sus trabajadores, contratistas, visitantes, transportistas, proveedores, instalaciones y de su comunidad conviviendo en armonía con el ambiente generando el menor impacto posible.

Para cumplir con este compromiso, se implementará un sistema de gestión integrado de seguridad, salud y ambiente.

Objetivo:

El manual tiene como objetivo dirigir a todo personal de planta, conocer mediante una breve explicación el reglamento, los procedimientos y formatos que deberá cumplir durante su horario laboral.

Alcance:

El contenido y las disposiciones de este documento son aplicables a todo el personal de planta así como a las compañías contratistas y subcontratistas que ejecuten actividades de construcción de nuevas instalaciones, modificación de infraestructura existente, mantenimiento y/o servicios generales en equipo y maquinaria dentro de PTAR.

Visión:

Ser la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de referencia a nivel municipal, en cuanto a seguridad, debido a su cultura y resultados a través de la gestión de un sistema de excelencia y administración.

Misión:

Desarrollar una cultura de seguridad a través del compromiso e involucramiento visible y genuino de todos los colaboradores, a partir de equipo de liderazgo, con especial atención en la identificación y eliminación de pérdidas por seguridad.

Responsabilidades:

A continuación, se muestra en la tabla 42, las actividades que se tienen que llevar a cabo, así como el responsable de dicha actividad.

Tabla 44. Responsabilidades de actividades en PTAR

Descripción de la Actividad	Responsable (s)
Solicitar el ingreso al curso de Inducción sobre seguridad y medio ambiente.	Responsable de Trabajo
Solicitar y revisar la documentación del personal	Responsable de Trabajo y Administrador
Entregar certificados médicos	Responsable de Trabajo y Supervisor de planta
Dar la inducción al personal	Administrador
Revisar información de pago del seguro para el resello bimestral	Responsable de Trabajo
Resellar credenciales bimestralmente	Administrador
Pasar relación de personal	Administrador
Entregar identificación al Personal de Vigilancia y registrar entradas.	Supervisor
Registrar herramienta	Supervisor
Revisar que la herramienta ingresada venga registrada en el formato de registro de herramientas y autorizar	Vigilancia
Dar acceso a personal en Caseta	Responsable de Trabajo
Entregar formato de servicios a caseta, firmada por el responsable del trabajo y recoger gafetes	Supervisor
Revisar herramienta y/o equipo a la salida	Vigilancia
Difundir y asegurar el cumplimiento del presente manual	Responsable de Trabajo Administrador y Compras
Ejecución del trabajo en conformidad con los estándares de seguridad industrial establecidos en el presente reglamento	Residente de Obra o Proyecto, Supervisor de Seguridad y Trabajadores.
Mantener actualizado el presente reglamento	Administrador
Aplicar las acciones disciplinarias en caso de incumplimiento a este reglamento.	Administrador y Comité de Cero Tolerancia
En caso de ocurrir un evento (incidente y/o accidente) se deberá realizar la investigación correspondiente, con ayuda del departamento de Seguridad	Responsable del trabajo

Industrial, y deberá entregar el preliminar de dicha investigación en un lapso de 24 horas después de haber ocurrido el evento.	
Asegurar el cumplimiento, con ayuda del departamento de Seguridad Industrial, de las contramedidas establecidas en la investigación de un accidente	Responsable de trabajo

Fuente: Autoría propia 2022

Requerimientos de seguridad

Los trabajadores deberán cumplir con los estándares de seguridad establecidos en las siguientes secciones:

Permisos de trabajo:

Un sistema de permisos de trabajo tiene como objetivo definir los requerimientos de seguridad mínimos para la ejecución de un trabajo dentro de la planta ya sea de bajo o alto riesgo, tal que protejan al personal, al medio ambiente y a las instalaciones.

Este sistema aplica a todo el personal de planta y contratista que lleven a cabo actividades de mantenimiento, construcción, demolición y actividades no rutinarias donde exista un riesgo potencial de causar daños al personal, medio ambiente o instalaciones.

Tabla 45. Permisos para trabajos de alto riesgo.

ALTO RIESGO [12 hrs]	
AUTORIZACIÓN MEDICA	OTROS
Espacios Confinados	Trabajos en Caliente
Alturas (1.8 mts)	Trabajos con Electricidad
Izaje, Maniobras, Movimiento de Materiales	Vapor / Otros Fluidos, demolición / Excavación
Manipulación de Equipo Pesado (Retroexcavadora, Moto conformadora, bulldozer)	Materiales peligrosos

Fuente: Autoría propia 2022

Tipos de permisos:

En la tabla 43 y 44, se describen los tipos de permisos que se manejan en la PTAR. Cabe mencionar que para trabajos que se consideren de alto riesgo, el permiso será válido en un tiempo de 12 hrs y para trabajos de bajo riesgo, el permiso lo podrán ocupar máximo por 3 días, cumpliendo con el horario de trabajo que marca la ley federal del trabajo.

Tabla 46. Permisos para trabajos de bajo riesgo.

BAJO RIESGO [3 días]
EJEMPLO
Pintura Base Agua
Únicamente herramientas manuales
Calibración de equipos
Trabajos de jardinería
Mantenimiento a trampas p/ roedores
Limpieza que no involucre químicos

Fuente: Autoría propia 2022

Manejo, control y almacenamiento de materiales y residuos peligrosos

a) El almacenamiento para tanques con gas a presión, deberá ser en un lugar ajeno a las bodegas, adecuadamente ventilado e identificado, los tanques deben tener su capuchón puesto y quedar fijos con cadena.

- b) El almacenamiento de los líquidos inflamables deberá realizarse en recipientes de seguridad, en buenas condiciones (sin abolladuras, perforaciones, ranuras, etc.), y etiquetados indicando la sustancia contenida, estos materiales deberán estar en anaqueles correctamente identificados y separados (De acuerdo a Normas Oficiales Mexicanas).
- c) El contratista o prestador de servicios es responsable de programar y dar seguimiento al suministro de materiales con sus proveedores y coordinarse anticipadamente con el supervisor responsable de planta, para la autorización de entradas y salidas de dichas personas. En lo que respecta a los materiales contratados por peso, se podrá hacer uso de la báscula propiedad de la empresa, para su correcto registro.
- d) Para uso de cualquier sustancia inflamable dentro de las instalaciones de la empresa, el contratista o prestador de servicios deberá obtener el permiso para realizar trabajos peligrosos con el departamento seguridad.

Residuos peligrosos:

- a) El personal deberá depositar en el almacén de residuos peligrosos, todos aquellos residuos como: trapos, cartones y plásticos impregnados con pintura, grasa, aceite mineral o cualquier tipo de solvente. Deberá de identificarlos provisionalmente mediante una etiqueta o anotar con un plumón permanente sobre el envase que lo contiene.
- b) Se prohíbe todo almacenamiento de residuos peligrosos dentro de las bodegas y en el compactador de basura.
- c) Toda compañía contratista o prestadora de servicios será responsable de cuidar que no se derrame, tire o deseché ningún tipo de material y/o residuo peligroso a los residuos no peligrosos, drenaje, suelo, áreas verdes, etc.

Residuos no peligrosos:

- a) Los residuos que se generen durante las actividades (escombros, chatarra, cartón, plástico y desperdicios generados por el desmantelamiento de tuberías y tanques aislados) serán depositados en los contenedores identificados para cada residuo.

b) En el caso de proyectos especiales los residuos que se generen serán retirados por los trabajadores encargados del área de residuos, estos, deberán ser enviados a sitios autorizados (Secretaría de Medio Ambiente del Edo. de México) ya sea para su disposición final o reciclaje. Es obligatorio entregar un documento comprobatorio del sitio de disposición final de los residuos no peligrosos.

Tales residuos son: Escombros. - Albañilería (Pedacearía de tabique, revoltura, tierra generada por excavaciones, etc.), chatarra como lámina, fierro, acero inoxidable, aluminio, etc.

Prevención de incendios y emergencias

a) El contratista o trabajador será el responsable de vigilar que sus áreas de trabajo estén libres de basura, sin trapos impregnados con: aceite, thinner, gasolina, diésel, etc., sin desperdicios de madera y los líquidos inflamables depositados en recipientes adecuados e identificados.

b) El contratista o trabajador antes de iniciar cualquier actividad de corte y / o soldadura a fuego abierto, en lugares confinados (cerrados), y/o en alturas, deberá coordinarse con el supervisor responsable del trabajo y deberán solicitar el permiso de autorización para trabajos en espacios confinados y presentarlo al departamento seguridad industrial, el cual verificará físicamente en el área las condiciones de seguridad a cumplir.

c) En la realización de cualquier trabajo que involucre cortar y soldar a fuego abierto y manejo de sustancias peligrosas, el contratista o trabajador deberá tener a la mano un extintor adecuado para cualquier conato de incendio que se pudiera presentar.

d) El contratista o trabajador deberá avisar al supervisor del área y / o al departamento de seguridad cuando haya utilizado extintores.

e) El trabajador deberá avisar de cualquier conato de incendio al *1 Caseta de Vigilancia.

f) En el caso de un derrame, el trabajador deberá delimitar el área y contener la sustancia con el material absorbente adecuado (kit para derrames), tratando de impedir que se dirija hacia las coladeras o reaccione con otras sustancias, de inmediato deberá de notificar al departamento Seguridad Industrial y al operador de residuos peligrosos (localizándolo por radio interno).

- g) En cualquier emergencia o simulacro, el contratista o trabajador participará en la evacuación del personal, siguiendo las instrucciones de los brigadistas del área, las rutas de evacuación y los puntos de reunión indicados en cada área, así como las normas de seguridad establecidas.
- h) En cualquier tipo de trabajo se debe de mantener libre de obstáculos todos los equipos de emergencia y / o contra incendio, así como los pasillos y salidas de emergencia.

Consideraciones generales

- a) El horario de trabajo normal es de lunes a viernes de 8:00 a 18:00 horas, sábados de 8:00 a 14:00; si por alguna circunstancia requieran trabajar los domingos o días inhábiles, el responsable del trabajo generará un memorando para horario inhábil, de lo contrario no se les permitirá el acceso en la caseta de vigilancia.
- b) Para poder realizar cualquier actividad dentro de las instalaciones es necesario que se encuentren en las mismas el supervisor / responsable de obra y el responsable del trabajo, de lo contrario se negará el permiso para realizar el trabajo.
- c) Todo incidente debe ser reportado al departamento Seguridad, responsable del área afectada y responsable del trabajo con el objeto de investigar las causas y establecer medidas de control evitando así su repetición.
- d) El supervisor está obligado asistir a las juntas mensuales de seguridad con duración mínima de 1 hr, las cuales se harán el primer jueves de cada mes, en dicha junta se informará su evaluación de desempeño.
- e) El trabajador está obligado a entregar de forma semanal las revisiones de EPP así como presentar mínimo 6 tarjetas verdes por acto inseguro y/o condición insegura y cuasi accidente.
- f) Se prohibirá el acceso al personal o supervisores renuentes a cumplir las reglas y procedimientos establecidos.
- g) Se debe contar con todos los requisitos de Seguridad y Protección al Ambiente que se requieran para el manejo de Materiales y Residuos Peligrosos.

Reglas generales

• MANEJO DE MATERIALES PELIGROSOS

Para manejar, transportar y/o almacenar materiales peligrosos es necesario contar con la capacitación, tener el EPP de máxima protección, debe estar contenida en recipientes de seguridad, identificada y validado por seguridad.

• RIESGOS DE MAQUINAS EN MOVIMIENTO

Prohibido meter cualquier parte del cuerpo a partes o maquinas en movimiento. Así como retirar guardas sin aplicar LOTO

• BLOQUEO Y TARJETO (L.O.T.O)

Para cualquier Limpieza, Inspección, Lubricación, Ajuste y apertura de líneas y/o equipos; identifique, bloque y drene todos los tipos de energía involucrados aplicando el procedimiento de LOTO.

• PERMISOS DE TRABAJO (PTW)

Para realizar cualquier trabajo de alto riesgo y/o tarea no rutinaria debe contar y seguir todo el procedimiento de permisos de trabajo y su respectivo AST.

• TRABAJOS ELÉCTRICOS

No realice ningún trabajo eléctrico, el único personal autorizado para el manejo de energía son los eléctricos de planta y contratistas validados para esta actividad.

• REPORTE DE INCIDENTES

Reporte inmediatamente a su jefe directo y a servicio médico cualquier tipo de incidente por leve que sea, colaborando para su investigación y análisis.

Figura 30. Reglas generales

Fuente: Autoría propia 2022

CONCLUSIONES

Tras la recolección y caracterización de las muestras de agua residual, nos arrojó los siguientes parámetros:

Tabla 12. Caracterización del agua residual.

Parametro	Resultados
Coliformes Fecales NMP/100 ml	850
Huevos de Helminto (h/l)	34
Grasas y Aceites mg/l	4.8
DBO5 mg/l	150
SST mg/l	390.00
Arsenico	0.15
Cadmio	0.04
Cianuro	1.5
Cobre	2
Cromo	0.01
Mercurio	0.003
Niquel	1.5
Plomo	0.005
Zinc	5

De acuerdo con los valores obtenidos, se propone un tren de tratamiento para dar cumplimiento con la NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reúsen en servicios al público, en cual se describe a continuación:

- 1.- Rejilla
- 2.- Cribado grueso
- 3.- Cárcamo
- 4.- Cribado fino
- 5.- Sedimentador primario
- 6.- Floculación y aireación
- 7.- Filtro biológico (reactor biológico)
- 8.- Sedimentador secundario

En el que, de acuerdo con las características de agua cruda de entrada al tren de tratamiento, tenemos un agua residual tratada de salida con los siguientes parámetros:

Tabla 13. Caracterización de agua después del tren de tratamiento

Parametro	Resultados	Limite maximo permisible
Coliformes Fecales NMP/100 ml	200	240
Huevos de Helminto (h/l)	0	≤ 1
Grasas y Aceites mg/l	4.8	15
DBO5 mg/l	18.21	20
SST mg/l	0.10	20
Arsenico	0.1	0.2
Cadmio	0.02	0.05
Cianuro	1	2
Cobre	1	4
Cromo	0.002	0.05
Mercurio	0.001	0.005
Niquel	1	2
Plomo	0.003	0.05
Zinc	3	10

Fuente: NOM-003-SEMARNAT-1996

Se trabajo en la ingeniería del proyecto proponiendo un tren de tratamiento que consiste en:

- 1.- Cribado grueso y fino para la remoción de solidos mayores a 5 mm
- 2.- Tanque de homogenización, para la mezcla de agua residual
- 3.- Tanques de sedimentación primario de lodos
- 4.- Tanques sedimentación secundario de lodos
- 5.- Tanque de biocida
- 6.- Tanque de almacenamiento de agua tratada
- 7.- Instrumentación (sensores), bombas y válvulas.

El cual se diseña para tratar un caudal de 1.5 l/s

La ingeniería de costos para materiales, equipos, insumos y mano de obra desglosa de la siguiente manera:

- Costo por cada uno de los componentes para rejillas \$10,984.92
- Costo del material para la construcción del cárcamo de bombeo \$34,088.6691
- Costos de los equipos para el sedimentador primario \$50617.58
- Costos para la construcción del filtro biológico \$55,342.58
- Costos para la construcción del sedimentador secundario \$50,617.58
- Costos para la construcción de la planta \$20,1652.59
- Total, de inversión inicial \$403,303.92

Los impactos ambientales que se generarán por la construcción de la obra global son en su gran mayoría temporales, ya que una vez que concluyan los trabajos de su ejecución desaparecerán y los beneficios ambientales y socioeconómicos para los habitantes serán permanentes y significativos, ya que conducirán las aguas servidas de la población y evitará afectaciones a la salud pública eliminando los posibles focos de contaminación y la posible generación de vectores.

Con el fin de identificar y valorar los impactos ambientales negativos y positivos que se producirían por la construcción y operación del proyecto, se procedió a diseñar una matriz de impactos ambientales, en la que las actividades están enlistadas en las columnas y las mismas que constan de dos etapas:

- Actividades de construcción
- Actividades de operación y mantenimiento.

Los trabajadores deberán cumplir con los estándares de seguridad establecidos de acuerdo con las normas de la STPS que les sean aplicables.

Se estableció realizar permisos de trabajo y análisis de riesgo para las actividades que se ejecuten durante la jornada laboral, así como la segregación y clasificación de los residuos que sean generados durante las actividades.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS Y VIRTUALES

- Programa de seguridad e higiene
- Manual de operación y mantenimiento
- Plan de desarrollo municipal. Sánchez Isidoro, David, et. al. 2013-2015. <http://coacalco.gob.mx/portal/wp-content/uploads/2013/09/pdm-coacalco-deberrioz%c3%81bal-2013-1015.pdf>.
- Pedrero F, Kalavrouziotis I, Alarcón JJ, Koukoulakis P, Asano T. Use of treated municipal wastewater in irrigated agriculture - Review of some practices in Spain and Greece. *Agriculture Water Management* 2010; 97 (9): 1233-1241.
- Arango A, Rivera D, Martínez MM, Carrascal AK, Pedroza AM. Elaboración de películas de TiO₂ por sedimentación para el pos-tratamiento de un efluente anaeróbico generado en un relleno sanitario. *Superficie y vacío* 2009; 22 (1): 10-16.

- Ingeniería de los sistemas de tratamiento y disposición de aguas residuales
- FAIR G. Purificación de aguas, tratamiento y remoción de aguas residuales, Eddi. Limusa Editores, 2011.
- Rojas R. Potabilización del agua, tercera edición. Edit. Alfa Omega, 2012.
- Sotelo, I.E. 2003. Relaciones intergubernamentales en la prestación de servicios públicos municipales: el caso de los tratamientos de aguas residuales en san Luis Potosí. Tesis de Maestría en Estudios Urbanos. El Colegio de México. México D.F., 86 p.
- Toledo, Alejandro. 2006. Agua, hombre y paisaje. SEMARNAT, México, 259 p.
- Enrique, Ramirez. (2008) Reutilización sana y ahorro de agua en un edificio multifamiliar. Instituto Politécnico Nacional, México.

ANEXOS

Anexo A. Manual de operación y mantenimiento

A continuación, se presenta los equipos, su operación, mantenimiento y medidas de seguridad (Tabla 47).

Equipo	Función	Operación	Mantenimiento
Rejilla	Retener objetos y sólidos de mayor tamaño que son arrastrados en el flujo de aguas negras, generalmente son trozos de madera, telas, plásticos, papel, vidrio y parte de materia fecal.	Las rejillas manuales tienen que ser limpiadas dos veces por día, por la mañana y por la tarde. Si la rejilla no se limpia y vigila regularmente, puede impedir el paso del agua. En periodos de lluvias la limpieza debería de repetirse cada media hora para evitar que la rejilla se obstruya.	-Limpiar toda la semana con agua a presión toda la rejilla. -Asegurarse que la placa perforada para escurrimiento se mantenga limpia y libre de sólidos. -Para evitar los malos olores producido por el resto de material secado de

		Es de mucha importancia de que cada persona que realiza la limpieza debe de usar guantes de protección de hule, para retirar los objetos retenidos en la rejilla evitando el riesgo de infección.	la rejilla aplicar oxido de calcio hidratado (cal).
Sedimentador primario	Separar de las aguas la mayor cantidad de sólidos en suspensión y sedimentación.	Cada dos días, se deberá retirar de la superficie de los sedimentadores, las grasas, natas, espumas y sólidos flotantes, se deberá utilizar una malla fina tipo zaranda sujeta a un extremo de un palo largo, como los usados para limpiar piscinas, estos residuos serian conducidos a los lechos de secados, mediante una carretilla manual pintada con pintura anticorrosiva. El lodo acumulado en el fondo del sedimentador primario deberá ser drenado. Cada 7 días, repetir el proceso llevando registro en la bitácora de operación.	-Se deberán mantener todas las superficies libres de acumulaciones de espumas, sólidos, grasas o material similar. Para ello se realizarán los siguientes procesos. -Para remover los sólidos flotantes utilizar una zaranda de malla realizando este proceso diariamente. -Las grasas acumuladas en las paredes próximas al nivel del agua retirarlas utilizando un raspador tipo escobilla efectuándose semanalmente. -Una vez al año localizar los puntos de corrosión en las estructuras metálicas.
Filtro biológico	La película biológica que se desarrolla en la superficie de las piedras utiliza como sustrato La materia orgánica disuelta en las aguas, esto permite “remover la contaminación orgánica que no es posible eliminar en la sedimentación primaria”.	Las viguetas que distribuyen el agua que llega al filtro, deberán limpiarse con una periodicidad de dos veces por semana. En esta actividad se deben remover sedimentos que se alojan y pueden obstruir el funcionamiento de los vertederos; las perforaciones en el fondo de los canales de	-Se realizará una inspección diaria de los canales de distribución y se deberán limpiar. -Realizar pruebas de sedimentación al agua de salida del filtro y anotar y reportar los datos en el reporte de campo. -Limpiar una vez por

		recolección serán de 1/4" para evitar obstrucciones	semana la superficie del filtro con agua limpia y a presión, para así lograr limpiar la biomasa de las piedras. -Una vez por semana, debe revisarse la superficie del medio filtrante (superficie opuesta de las piedras) debe retirarse basura o arbustos que puedan crecer en esta superficie. -Revisar las estructuras de concreto, estructuras metálicas y así poder observar los puntos dañados y repararlos sin alterar las dimensiones.
--	--	---	---

Fuente Autoría propia 2022

Anexo B. Determinación del equipo de protección personal

De acuerdo con las actividades que se desarrollaran en la PTAR, se podrá seleccionar el equipo de protección personal para la región anatómica del cuerpo expuesta y la protección que se requiere dar.

a) EPP obligatorio para planta

REGION ANATOMICA	EPP	TIPO DE RIESGO EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJADOR	REFERENCIA
1) Cabeza		A) Casco contra impacto A) Golpeado por algo, que sea una posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad.	Norma Oficial Mexicana NOM-115-STPS-1994, Cascos de protección-especificaciones, métodos de prueba y clasificación

			Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
2) Ojos y cara	A) Anteojos de protección B) Goggles 	A) Riesgo de proyección de partículas o líquidos. En caso de estar expuesto a radiaciones, se utilizan anteojos de protección contra la radiación. B) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad.	Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
3) Oídos	A) Tapones auditivos 	A) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo con el especificado en el producto o por el fabricante.	Norma Oficial Mexicana NOM-011-STPS-2001, Condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se genere ruido. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
4) Extremidades inferiores	A) Calzado ocupacional. B) Calzado contra sustancias químicas. 	A) Proteger a la persona contra golpes, machacamientos, resbalones, etc. B) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante.	Norma Oficial Mexicana NOM-113-STPS-2009, Seguridad-Equipo de protección personal-Calzado de protección-Clasificación, especificaciones y métodos de prueba. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

b) EPP para manejo de químicos.

REGION	EPP	TIPO DE RIESGO EN	REFERENCIA
--------	-----	-------------------	------------

ANATOMICA		FUNCION DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJADOR	
1) Cabeza	A) Casco contra impacto	A) Golpeado por algo, que sea una posibilidad de riesgo continuo inherente a su actividad.	
2) Ojos y cara	A) Goggles 	A) Riesgo de exposición a vapores o humos que pudieran irritar los ojos o partículas mayores o a alta velocidad.	
3) Oídos	A) Tapones auditivos	A) Protección contra riesgo de ruido; de acuerdo con el máximo especificado en el producto o por el fabricante.	
4) Aparato respiratorio	A) Respirador contra gases y vapores B) Mascarilla desechable 	A) Protección contra gases y vapores. Hay que considerar que hay diferentes tipos de gases y vapores para los cuales aplican también diferentes tipos de respiradores, incluyendo para gases o vapores tóxicos. B) Mascarilla sencilla de protección contra polvos.	Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
5) Extremidades superiores	A) Guantes contra sustancias químicas. 	A) Riesgo por exposición o contacto con sustancias químicas corrosivas.	Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
6) Tronco	A) Mandil contra sustancias químicas. B) Ropa contra sustancias peligrosas.	A) Riesgo por exposición a sustancias químicas corrosivas; cuando se puede tener contacto del cuerpo con este tipo de sustancias. B) Es un equipo de protección personal que protege cuerpo, cabeza,	Norma Oficial Mexicana NOM-005-STPS-1998, Relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo para el manejo, transporte y almacenamiento de

		brazos, piernas pies, cubre y protege completamente el cuerpo humano ante la exposición a sustancias altamente tóxicas o corrosivas.	sustancias químicas peligrosas. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.
7) Extremidades inferiores	A) Calzado ocupacional B) Calzado contra sustancias químicas	A) Proteger a la persona contra golpes, machacamientos, resbalones, etc. B) Protección de los pies cuando hay posibilidad de tener contacto con algunas sustancias químicas. Considerar especificación del fabricante	

c) EPP para realizar análisis fisicoquímicos.

REGION ANATOMICA	EPP	TIPO DE RIESGO EN FUNCION DE LA ACTIVIDAD DEL TRABAJADOR	REFERENCIA
2) Ojos y cara	A) Anteojos de protección	A) Riesgo de proyección de partículas o líquidos.	
5) Extremidades superiores	A) Guantes de latex 	A) Riesgo por contacto con sustancias química.	Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008, Equipo de protección personal-selección, uso y manejo en los centros de trabajo.

