



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
ZARAGOZA

PROPUESTA DE MODIFICACIÓN DE LA PLANTA
DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL DE UNA
TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARTO DE
PEMEX REFINACIÓN PARA DAR CUMPLIMIENTO A
LA NOM-003-SEMARNAT-1997

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO QUÍMICO

P R E S E N T A:

FRANCO MERCADO LUIS RAYMUNDO

DIRECTOR DE TESIS:

ING. JESÚS CONRADO MONTAÑO CARBAJAL



MÉXICO, D.F.

FEBRERO, 2016



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas

Tesis Digitales

Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©

PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

FACULTAD DE ESTUDIOS
SUPERIORES "ZARAGOZA"

DIRECCIÓN

JEFE DE LA UNIDAD DE ADMINISTRACIÓN
ESCOLAR
PRESENTE.

Comunico a usted que al alumno(a) Franco Mercado Luis Raymundo con número de cuenta 41101135-6 de la carrera Ingeniería Química, se le ha fijado el día 04 del mes de Marzo de 2016 a las 15:00 horas para presentar su examen profesional, que tendrá lugar en la sala de exámenes profesionales del Campus II de esta Facultad, con el siguiente jurado:

PRESIDENTE	I.Q. JOSÉ MARIANO RAMOS OLMOS
VOCAL	I.Q.P. JESÚS CONRADO MONTAÑO CARBAJAL *
SECRETARIO	I.Q. JOSÉ ANTONIO ZAMORA PLATA
SUPLENTE	M. EN I. PABLO EDUARDO VALERO TEJEDA
SUPLENTE	M. EN C. ANA LILIA MALDONADO ARELLANO

[Firmas manuscritas de los miembros del jurado]

El título de la tesis que se presenta es: Propuesta de modificación de la planta de tratamiento de agua residual de una terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX Refinación para dar cumplimiento a la NOM-003-SEMARNAT-1997.

Opción de Titulación: Tesis Convencional

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
México, D. F. a 05 de Febrero de 2016.

DR. VÍCTOR MANUEL MENDOZA NÚÑEZ
DIRECTOR



Vo.Bo.

I.Q. DOMINGA ORTIZ BAUTISTA
JEFA DE LA CARRERA DE I.Q.

RECIBÍ:

OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES
Y DE GRADO

[Firma manuscrita: Dominga Ortiz Bautista]

AGRADECIMIENTOS

A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Por darme la dicha de ser miembro de la Máxima Casa de estudios de nuestro país y una de las mejores Universidades del mundo, en específico a la FES Zaragoza mi segunda casa durante los años de mi formación profesional, esos años inolvidables y esa formación de calidad estarán siempre presentes en mi futuro, en mis pensamientos, en mi corazón y en mi espíritu.

A MIS PROFESORES

Por todo el conocimiento transmitido, su tiempo, su apoyo y su paciencia, quiero expresarles mi respeto y admiración, especialmente a mis sinodales por sus consejos en la revisión de este trabajo.

AL INGENIERO JESÚS CONTRADO MONTAÑO CARBAJAL

Por todos sus consejos, apoyo, paciencia, confianza y motivación durante la realización de este trabajo y durante mi estancia en PEMEX, realmente lo respeto y lo admiro como ingeniero y como persona.

A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS

Por todos los momentos que compartimos dentro de nuestra facultad, muchos muy buenos y algunos no tan buenos sin embargo necesarios para nuestro crecimiento personal. Gracias por todos esos recuerdos, por su valiosa amistad y por su calidad de seres humanos.

A LA FAMILIA NIETO BARRERA

Por todo su apoyo durante todo el tiempo de mi formación profesional, fueron un pilar importante en este trayecto en el que formaron parte importante.

DEDICATORIA

A MI MADRE

Por darme la vida e inculcarme los valores que me han hecho crecer como persona, por animarme cada día a luchar por alcanzar mis metas y especialmente por ese cariño incondicional que siempre me brindaste.

A MI PADRE

Por el esfuerzo que haces a diario para darnos un mejor estilo de vida, por tus consejos, tu cariño y el apoyo incondicional que siempre nos has dado.

A MIS HERMANOS

Por todo el apoyo y cariño que nos hemos brindado, por la confianza, tolerancia y respeto que procuramos darnos día con día y por todos esos buenos momentos que hemos compartido.

Para todos ustedes, mi familia, va dedicado este trabajo ya que sin su apoyo este logro, que también es un logro de ustedes, jamás se habría conseguido.

CONTENIDO

RESUMEN	1
OBJETIVOS.....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS	4
1.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA.....	4
1.1.1.- Contaminantes químicos.....	4
1.1.2.- Contaminantes físicos	7
1.1.3.- Contaminantes biológicos	8
1.2.- CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES	11
1.2.1.- Análisis físico del agua.....	11
1.2.2.- Análisis químico del agua	13
1.2.3.- Análisis biológico del agua.....	16
1.3.- ESTRATEGIA PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES	18
1.4.- TRATAMIENTO DE AGUAS EN MÉXICO.....	19
1.4.1.- Normatividad	19
1.4.2.- Programa Nacional Hídrico (PNH)	21
1.4.3.- Fomento al tratamiento y reuso de aguas residuales.....	21
1.5.- NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES	23
1.5.1.- Tratamiento primario	23
1.5.2.- Tratamiento secundario	27
1.5.3.- Tratamiento terciario	33
CAPÍTULO 2.- EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARTO DE PEMEX REFINACIÓN.....	46
2.1.- IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUA.....	46
2.2.- CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE	46
2.2.1.- Agua contra incendio	46
2.2.2.- Agua sanitaria	47
2.2.3.- Agua para lavado de las instalaciones	47
2.2.4.- Agua fluvial.....	48

2.2.5.- Análisis fisicoquímico del efluente generado por la planta	48
2.3.- CARACTERIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES	50
2.3.1- Drenaje.....	50
2.3.2.- Fosas sépticas.....	51
2.3.3.- Cárcamo de recuperación y final	51
2.3.4.- Fosa API	52
2.3.5.- Tanque de recuperados.....	53
2.3.6.- Tanque desnatador	54
2.3.7.- Sistema de filtración en paralelo	55
2.3.8.- Fuente de aereación.....	56
2.3.9.- Cisternas de agua tratada.....	57
2.3.10.- Balance de masa.....	58
2.3.11.- Diagrama de flujo de proceso (DFP) de la planta de tratamiento de agua residual	59
2.3.12.- Descripción del proceso de la planta de tratamiento de agua residual en función del DFP	61
2.3.13.- Plano de localización general (PLG) de la terminal de almacenamiento y reparto	62
2.3.14.- Análisis fisicoquímico y microbiológico del efluente de la PTAR	64
CAPÍTULO 3.- PROPUESTA DE MODIFICACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES....	67
3.1.- ACONDICIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO	68
3.1.1.- Modificación del lecho de filtración en el sistema de filtrado.....	68
3.1.2.- Cálculo de la demanda de cloro en la etapa de cloración	81
3.2.- MODIFICACIÓN DEL EFLUENTE A TRATAR.....	86
3.2.1.- Arreglo del sistema de drenaje.....	86
3.2.2.- Limpieza más frecuente de las fosas sépticas	88
3.2.3.- Separación entre fosa API y cárcamo de recuperación	88
3.2.4.- Actualización y Modificación del Título de concesión para la descarga de aguas residuales	89
CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO	93
4.1.- ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA MODIFICACIÓN	94
4.1.1.- Costos de operación.....	95
4.1.2.- Costo si se utilizará agua potable en vez de agua residual	98
4.1.3.- Costo por la descarga de aguas residuales	99

4.1.4.- Relación costo - beneficio	100
ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	102
CONCLUSIONES	103
BIBLIOGRAFÍA.....	104
ANEXOS	107
A-1.- Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)	107
A-2.- Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO ₅)	112
A-3.- Disposición de residuos	118
A-4.- Formatos para la modificación administrativa de concesión al permiso de descarga	122
A-5.- Formatos para la modificación técnica de concesión al permiso de descarga.....	124

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Contenido	Página
1.1	Clasificación de aguas residuales en función de la DBO_5	15
1.2	Parámetros y límites máximos permisibles de las normas oficiales mexicanas para el control de descargas de aguas residuales.	20
1.3	Estímulo fiscal por m^3 descargado	22
1.4	Dosis típicas de cloro en desinfección	45
2.1	Análisis Fisicoquímico (1ra Parte)	48
2.2	Análisis Fisicoquímico (2da Parte)	49
2.3	Análisis del Material Flotante	49
2.4	Análisis Fisicoquímico (1ra Parte)	64
2.5	Análisis Fisicoquímico (2da Parte)	64
2.6	Análisis Fisicoquímico (3ra Parte)	65
2.7	Análisis de Material Flotante	65
2.8	Análisis Microbiológico	66
3.1	Parámetros actuales y límites permisibles	67
3.2	Granulometría recomendada para la capa de soporte	69
3.3	Granulometría recomendada para lechos combinados	70
3.4	Relación de modificación Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica	76
3.5	Relación Modificación-Muestra Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica-Antracita	77
3.6	Resultados sólidos suspendidos totales (SST) Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica	78
3.7	Resultados SST Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica-Antracita	78
3.8	Resultados SST Arreglo base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica	78
3.9	Resultados DBO_5 Arreglo Base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica	79
3.10	Resultados DBO_5 Modificación 5 Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica	79
3.11	Relación Dosis-Concentración de cloro	85
3.12	Resultados de la demanda de cloro	85
3.13	Comparación de resultados de DBO_5 entre drenaje sanitario y aceitoso	88
4.1	Cálculo de las potencias de las bombas	95
4.2	Cálculo de la energía consumida por las bombas	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Contenido	Página
1.1	Proceso convencional de lodos activos	28
1.2	Diagrama de un filtro percolador típico	29
1.3	Esquema de una unidad RBC típica	31
1.4	Diagrama de flujo del proceso anaerobio de contacto	33
1.5	Desestabilización de coloide y compresión de la capa difusa	39
1.6	Principio de la ósmosis inversa	43
1.7	Diagrama de un sistema tubular para el tratamiento de las aguas residuales mediante la ósmosis inversa	44
2.1	Cárcamo de recuperación y final	52
2.2	Fosa API	53
2.3	Tanque de recuperados	54
2.4	Tanque desnatador	55
2.5	Sistema de filtración en paralelo	55
2.6	Lecho de filtración	56
2.7	Fuente de aereación	57
2.8	Tanques cisterna	58
3.1	Arreglo base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica	69
3.2	Arreglo base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita	71
3.3	Pérdida de carga Arreglo Actual	72
3.4	Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Silica	73
3.5	Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita	73
3.6	Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica Invertido	73
3.7	Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita Invertido	74
3.8	Materiales de filtración utilizados	75
3.9	Filtro piloto Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica	76
3.10	Filtro piloto Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita	77
3.11	Modificación 5 del arreglo T-G-G-A	80
3.12	Muestras de agua antes y después del filtrado	80
3.13	Curva de demanda de cloro	82
3.14	Curva de la demanda de cloro obtenida	85
3.15	Posible modificación al drenaje sanitario	87

RESUMEN

En este trabajo se buscó mejorar el efluente de la planta de tratamiento de agua de una terminal de almacenamiento de PEMEX refinación en función de la NOM-003-SEMARNAT-1997 la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios al público, así como mostrar la importancia que tiene la reutilización del agua tratada para el uso contra incendio y el uso para riego en comparación con el costo que tendría la utilización de agua de la red municipal para este mismo fin.

Para plantear una modificación al sistema de tratamiento, se hace una recopilación general de lo que representa el tratamiento de agua para familiarizar al lector con este tema y comprender más su importancia, para posteriormente describir el sistema de tratamiento actual, es decir, identificar los equipos e instalaciones involucradas con lo que se busca plantear una modificación a dicho sistema, sin que éste involucre modificaciones mayores al mismo.

Para conseguir que el agua tratada que se reuse tenga una calidad establecida por la norma y pueda ser utilizada con mayor seguridad para el personal y para más funciones dentro de la terminal.

OBJETIVOS

Objetivo General

Plantear una propuesta para mejorar el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de una terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX Refinación que cumpla con la NOM-003-SEMARNAT-1997 para uso ocasional.

Objetivos específicos

- Plantear de manera general lo que representa el tratamiento de agua residual.
- Caracterizar el efluente generado por el centro de trabajo, así como el generado por la planta de tratamiento de agua y evaluarlo conforme a la norma correspondiente.
- Describir el proceso de tratamiento de agua residual actual con el que cuenta el centro de trabajo.
- Proponer una modificación al sistema de tratamiento actual que permita cumplir con la norma sin la necesidad de modificaciones mayores al sistema.
- Realizar un análisis costo - beneficio para determinar la viabilidad de la reutilización de agua residual en comparación con el uso de agua potable proveniente de la red municipal para el mismo uso.

INTRODUCCIÓN

Toda actividad humana tiene asociada una generación de aguas residuales que deben ser sometidas a un tratamiento que garantice la continuidad del ciclo de consumo del recurso. ^[27]

El tratamiento de aguas residuales actualmente lleva consigo tantos procesos de tratamiento y equipos, operaciones unitarias y de proceso que se hizo evidente que, sobre todo, la ingeniería química debería tener una participación prioritaria en la resolución de los problemas de aguas residuales. El concepto de operaciones unitarias, desarrollado fundamentalmente en la ingeniería química a lo largo de los últimos 50 años, constituye la llave de la aproximación científica a los problemas de diseño que se encuentran en el tratamiento de aguas residuales. ^[27]

Estas operaciones, tanto físicas como químicas en su base, deben diseñarse caso por caso para cada problema de aguas residuales. Obtener nuevas fuentes de agua se va haciendo cada día más difícil, dado que la población crece y demanda este recurso. ^[27]

Por lo que se debe aprovechar en la medida de lo posible el agua residual generada, así como disponer correctamente del agua que no se recupere, con base en la normatividad vigente aplicable, para garantizar el uso seguro del recurso y evitar así posibles enfermedades producto del contacto propio del reuso que se le dé al agua.

CAPÍTULO 1.- GENERALIDADES DEL TRATAMIENTO DE AGUAS

1.1.- CLASIFICACIÓN DE LOS CONTAMINANTES DEL AGUA

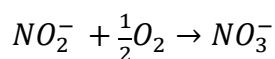
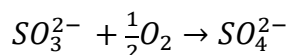
El agua contiene diversas sustancias químicas y biológicas disueltas o suspendidas en ella. Desde el momento que se condensa en forma de lluvia, el agua disuelve los componentes químicos de sus alrededores, corre sobre la superficie del suelo y se filtra a través del mismo. Además el agua contiene organismos vivos que reaccionan con sus elementos físicos y químicos. Por estas razones suele ser necesario tratarla para hacerla adecuada para su uso como provisión a la población. El agua que contiene ciertas sustancias químicas u organismos microscópicos puede ser perjudicial para ciertos procesos industriales, y al mismo tiempo perfectamente idónea para otros. Los microorganismos causantes de enfermedades que se transmiten por el agua la hacen peligrosa para el consumo humano. Las aguas subterráneas de áreas con piedra caliza pueden tener un alto contenido de bicarbonatos de calcio (dureza) y requieren procesos de ablandamiento previo a su uso.^[1]

Los contaminantes del agua se clasifican en tres categorías: químicos, físicos y biológicos.

1.1.1.- Contaminantes químicos

Los contaminantes químicos comprenden tanto productos químicos orgánicos como inorgánicos. El aspecto fundamental resultante de la contaminación por compuestos orgánicos es la disminución de oxígeno como resultado de la utilización del existente en el proceso de degradación biológica de dichos compuestos. En el caso de la contaminación derivada de la presencia de compuestos inorgánicos el resultado más importante es su posible efecto tóxico, más que la disminución en oxígeno. Sin embargo, hay casos en los cuales los compuestos inorgánicos presentan una demanda de oxígeno, contribuyendo a la disminución del mismo.^[18]

Los sulfitos y los nitritos, por ejemplo, toman oxígeno para oxidarse a sulfatos y nitratos, respectivamente:



Los iones de metales pesados, tóxicos para los seres humanos, son importantes contaminantes de este grupo. Incluyen mercurio, arsénico, cobre, zinc, níquel,

cromo, plomo, cadmio. Su presencia, aun en pequeñas cantidades (concentraciones mínimas detectables), puede causar serios problemas. ^[18]

Los elementos químicos que se encuentran en el agua natural y que producen alcalinidad, dureza y salinidad y se divide en cuatro grupos: ^[18]

Grupo 1.- Producen solo alcalinidad

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

Grupo 2.- Producen dureza carbonatada y alcalinidad

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

Grupo 3.- Producen salinidad y dureza no carbonatada

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

Grupo 4.- Producen salinidad, pero no dureza

- Sulfato de Potasio - K_2SO_4
- Cloruro de Potasio - KCl
- Nitrato de Potasio - KNO_3
- Sulfato de Sodio - Na_2SO_4
- Cloruro de Sodio - $NaCl$
- Nitrato de Sodio - $NaNO_3$

Las sustancias que producen acidez al agua, pueden provenir de volcamientos, pero también son frecuentes en el tratamiento de aguas y son: ^[18]

- Ácido Sulfúrico - H_2SO_4
- Sulfato Ferroso - $FeSO_4$
- Sulfato de Aluminio - $Al_2(SO_4)_3$

Las aguas pueden contener además otras sustancias que generan molestias o trastornos al organismo, dichas sustancias son: ^[1]

- **Fenol:** en las fuentes de abastecimiento de agua solo se lo encuentra como proveniente de residuos industriales vertidos al agua. Una pequeña concentración en presencia de cloro produce un gusto muy desagradable.
- **Arsénico:** suele encontrarse en pequeñas cantidades salvo alguna excepción y se aumenta cuando existen vertidos de residuos industriales o por arrastre con aguas de lluvia del arrastado de plomo que se usa en desinfección de árboles frutales
- **Selenio:** Normalmente su presencia no es significativa en los servicios de agua superficiales, pero suele encontrarse con mayor frecuencia en los abastecimientos de aguas subterráneas, y depende naturalmente de la composición del suelo de donde se extrae el agua.
- **Cromo hexavalente:** No está presente en las aguas naturales, se agrega como consecuencia de los vertidos industriales y en dosis importantes puede irritar las mucosas del sistema digestivo.
- **Plomo:** Prácticamente no existe en las aguas naturales superficiales, pudiendo detectarse su presencia en aguas subterráneas que proceden de suelos que contengan el mineral galeno. Su presencia en aguas superficiales generalmente proviene es consecuencia de vertidos industriales. El aumento de sales de plomo en el agua puede producir envenenamiento crónico o agudo.
- **Hierro:** No produce trastornos en la salud en las proporciones en que se lo encuentra en las aguas naturales. Mayores concentraciones originan coloración rojiza en el agua y mancha la ropa blanca. También puede provenir de residuos industriales en forma de sales ferrosas y férricas.
- **Manganeso:** De forma similar al hierro no es problema para la salud. En combinación con el plomo puede colorear la ropa blanca. En las plantas de agua potable y en especial en los filtros de agua y conductos de distribución favorece el desarrollo de ciertos microorganismos.
- **Flúor:** Procede de cenizas y rocas de formación ígnea. Se demostró que en concentraciones excesivas produce fluorosis, sin embargo en pequeñas cantidades favorece y fortalece la dentición de los niños hasta los 9 años, la dosis que produce ese efecto benéfico es tá entre los 1,5 y 6 ppm, los efectos tóxicos ocurren con grandes concentraciones. Una dosis de 230 mg es muy tóxica y es mortal en los 4000 mg por litro.

- **Cobre:** En forma natural solo se encuentran indicios de la presencia del cobre y en el agua potable puede existir debido a la corrosión de las cañerías o accesorios de cobre o bronce, también el sulfato de cobre (CuSO_4) que se aplica para controlar las algas en las plantas de potabilización. La presencia de cobre en las aguas naturales no acarrea problemas de salud y en las concentraciones que pueden ser tóxicas, adquiere un sabor muy desagradable que la hace imbebible.
- **Zinc:** De forma similar al cobre solo hay indicios en las aguas naturales. En el agua potable proviene de la corrosión de las tuberías de hierro galvanizado o bronce. El exceso produce rechazo por el sabor desagradable.
- **Magnesio:** Es uno de los minerales que junto con el calcio produce la dureza del agua. En cantidades importantes puede producir efectos laxantes.
- **Cloruro:** En el agua potable, su presencia se debe al agregado de cloro en las plantas potabilizadoras como desinfectante. En altas concentraciones y en combinación con otras sales producen sabores desagradables.
- **Sulfatos:** El radical sulfato tiene importancia cuando va asociado a aguas muy mineralizadas ya que produce un efecto laxante.
- **Calcio:** Junto con el magnesio son los principales causantes de la dureza. Representa más un problema económico por las incrustaciones en cañerías, que un problema de salud.
- **Yodo:** El agua natural contiene cantidades insignificantes. Su ausencia tiene significación en la enfermedad llamada bocio. Se estima que normalmente se deben ingerir de 0.05 a 0.10 mg de yodo por día.
- **Nitratos:** Se ha comprobado que altas concentraciones de nitratos en el agua produce cianosis o metahemoglobinemia, que afecta especialmente a los niños menores de 6 años. Las concentraciones altas de nitratos generalmente se encuentran en el agua en zonas rurales por la descomposición de la materia orgánica y los fertilizantes utilizados.

1.1.2.- Contaminantes físicos

Algunos contaminantes físicos incluyen cambios térmicos (contaminación térmica), el color, turbidez (originada por la descarga de aguas que contienen sólidos en suspensión), espumas (detergentes tales como sulfonato de alquilbenceno (SAB) constituyen una causa importante de formación de espumas) y radiactividad.^[18]

Los sabores y olores se deben a la presencia de sustancias químicas volátiles y a la materia orgánica en descomposición. Las mediciones de los mismos se hacen con base en la dilución necesaria para reducirlos a un nivel apenas detectable por observación humana.^[18]

El color del agua se debe a la presencia de minerales como hierro y manganeso, materia orgánica y residuos coloridos de las industrias. El color en el agua doméstica puede manchar los accesorios sanitarios y opacar la ropa. Las pruebas se llevan a cabo por comparación con un conjunto estándar de concentraciones de una sustancia química que produce un color similar al que presenta el agua.^[18]

La turbidez además de que es objetable desde el punto de vista estético, puede contener a gérmenes patógenos adheridos a las partículas en suspensión. El agua con suficientes partículas de arcilla en suspensión (10 unidades de turbidez), se aprecia a simple vista. Las fuentes de agua superficial varían desde 10 hasta 1000 unidades de turbidez, y los ríos muy opacos pueden llegar a 10000 unidades. Las mediciones de turbidez se basan en las propiedades ópticas de la suspensión que causan que la luz se disperse o se absorba. Los resultados se comparan luego con los que se obtienen de una suspensión estándar.^[17]

1.1.3.- Contaminantes biológicos

Los contaminantes biológicos son los responsables de la transmisión de enfermedades en las aguas de abastecimiento.

Las aguas poseen en su constitución una gran variedad de elementos biológicos desde los microorganismos hasta los peces. El origen de los microorganismos puede ser natural, es decir constituyen su hábitat natural, pero también provenir de contaminación por vertidos cloacales y/o industriales, como también por arrastre de los existentes en el suelo por acción de la lluvia. La calidad y cantidad de microorganismos va acompañando las características físicas y químicas del agua, ya que cuando el agua tiene temperaturas templadas y materia orgánica disponible, la población crece y se diversifica.^[17]

La biodiversidad de un agua natural indica la poca probabilidad de que la misma se encuentre contaminada. Sin embargo para que el agua se destinada a la provisión de agua potable, debe ser tratada para eliminar los elementos biológicos que contiene.^[1]

Los microorganismos más importantes son las algas y bacterias aunque la presencia de hongos, mohos y levaduras es un índice de la existencia de materia orgánica en descomposición.^[18]

1.1.3.1.- Algas

Las algas contienen fundamentalmente clorofila necesaria para las actividades fotosintéticas y por lo tanto necesitan la luz solar para vivir y reproducirse. La mayor concentración se da en los lagos, lagunas, embalses, remansos de agua y con menor abundancia en las corrientes de aguas superficiales. Las algas a menudo tienen pigmentos de colores que nos permite agruparlas en familias:^[17]

- **Clorofíceas:** como su nombre lo indica son de color verde. Algunas de ellas son de los géneros Eudorina, Pandorina y Volvox. Existen especies unicelulares y multicelulares y en grandes concentraciones, algunas de ellas generan olores ícticos (de pescado o pasto) al agua y toma una coloración verdosa.
- **Cianofíceas:** también son mono o multicelulares, son las algas azul verdosas. Algunas de ellas comunican al agua olores muy desagradables y suelen desarrollarse con tal abundancia que cubre los embalses con una nata, siendo la más característica de ella el género Anabaena.
- **Bacilorofíceas o diatomeas:** generalmente se presentan como monocelulares, son de color amarillo verdoso y a menudo dan olores aromáticos o ícticos. Son típicos los géneros Asterionella, Navículo, Sybdera y Fragilaria.

1.1.3.2.- Bacterias

Las llamadas bacterias son de los géneros Sphaerotilus y Crenothrix, relacionadas con el hierro y el manganeso del agua y del género Beggiatoa del grupo de las bacterias sulfurosas. Las bacterias que se pueden encontrar en el agua son de géneros muy numerosos, pero veremos aquí las que son patógenas para el hombre, las bacterias coliformes y los estreptococos que se utilizan como índice de contaminación fecal. Recordemos que según necesiten o no oxígeno libre para vivir se las llama aerobias o anaerobias, existe un tercer tipo que se desarrolla mejor en presencia de oxígeno pero pueden vivir en medios desprovistos del mismo y se las denomina anaerobias facultativas.^[18]

- **Bacterias propias del agua:** son frecuentes las de género Pseudomonas, Serratia, Flavobacterium y Achromobacterium, en general dan coloración al agua.
- **Bacterias del suelo:** son arrastradas por el agua de lluvia a los cursos superficiales en gran mayoría son aerobias, pertenecientes al género

Bacillus y otras que tienen un papel preponderante en la oxidación de materia orgánica y sales minerales.^[17]

- **Bacterias intestinales:** los organismos más comunes que se encuentran en el tracto intestinal son de los géneros Clostridium, E streptococos, Salmonella, E spirilos, B acteriófagos, C oliformes, S higelia y también merecen citarse las Vibrio cholerae y la Leptospira.^[17]

1.1.3.3.- Hongos, mohos y levaduras

Pertenecen al grupo de bacterias pero no contienen clorofila y en general son incoloras. Todos estos organismos son heterótrofos y en consecuencia dependen de la materia orgánica para su nutrición. Del reino animal nos encontramos los siguientes, que tienen importancia significativa:^[17]

- **Protozoarios:** de todos los que pueden encontrarse en el agua, el más importante por su toxicidad es la E ndamoeba histolytica que produce la disentería amibiana.
- **Moluscos:** son importantes el género de caracoles ya que son huéspedes intermedios de los gusanos de la clase Trematoda del grupo Platelminetos.
- **Artrópodos:** los que son importantes son las clases Crustácea, Insecta y Arácnida y desde el punto de vista sanitario el crustáceo del agua Cyclops que es vector del hunazo Nematelminto.
- **Platelminetos:** el más importante es el Equinococcus granulosus que produce la enfermedad llamada hidatidosis.
- **Helminetos:** se incluyen los anélidos y los traquelmitos que comprenden los rotíferos y los Nematelmintos entre los cuales hay varias especies patógenas para el hombre como la Dracunculus mendinensis, Ascaris lumbricoides, Trichuris trichiura, Enterovirus vermicularis, Necator americanus y Ancylostoma duodenale.

Por último un gran número de animales o vegetales microscópicos que flotan libremente en el agua y reciben el nombre genérico de plancton, el cual tiene importancia para juzgar la calidad sanitaria del agua.^[17]

1.2.- CARACTERIZACIÓN DE AGUAS RESIDUALES

1.2.1.- Análisis físico del agua

Estos exámenes dan a conocer el olor, la apariencia y aceptabilidad del agua de una manera general. Las determinaciones físicas más comunes se muestran a continuación.

1.2.1.1.- pH

Con este examen solo determinamos si el agua es ácida (aquella característica que provoca la corrosión de las tuberías de hierro), neutra o básica. Una solución que tenga pH menor que 7 es ácida, la que tenga un pH equivalente a 7 es neutra y, si el pH es mayor que 7, la solución es alcalina.^[18]

1.2.1.2.- Turbidez

La turbidez de una muestra de agua es la medida de la interferencia que presentan las partículas en suspensión al paso de la luz. Se debe a la arcilla, al lodo, a las partículas orgánicas, a los organismos microscópicos y a cuerpos similares que se encuentran suspendidos en el agua. La turbidez nos da una noción de la apariencia del agua y sirve para tener una idea acerca de la eficiencia de su tratamiento.^[18]

1.2.1.3.- Color

El color del agua se debe a la presencia de sustancias orgánicas disueltas o coloidales, sustancias inorgánicas disueltas, así como cuerpos vivos presentes, tales como algas. Cuando hay turbidez, el agua presenta un color evidente y para obtener el color verdadero se recurre a algún mecanismo técnico. El color constituye una característica de orden estético y su adecuada concentración puede causar cierto rechazo.^[18]

1.2.1.4.- Olor

En el agua, todas las sustancias inorgánicas pueden producir olor, según la concentración en que se encuentren. Los seres vivos, como las algas, el plancton, etcétera, también pueden producirlo. Debe recordarse que el cloro, además de ser desinfectante, puede quitar el olor, e impedir la proliferación de algas (que producen olor y color); eliminar el hierro y el manganeso y coagular las materias orgánicas. Sin embargo, cuando el cloro está presente en exceso, puede producir olor en el agua.^[18]

1.2.1.5.- Sólidos

Se define como sólidos a la materia que permanece como residuo después de evaporación y secado a 103 °C. Incluye toda la materia, excepto el agua contenida en los materiales líquidos.^[18]

- **Sólidos totales:** El valor de los sólidos totales incluye material disuelto y no disuelto (sólidos suspendidos). Para su determinación, la muestra se evapora en una cápsula previamente pesada, preferiblemente de platino o porcelana, sobre un baño María, y luego se seca a 103 – 105 °C. El incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos totales o residuo total.
- **Sólidos disueltos (o residuo filtrable):** Son determinados directamente o por diferencia entre los sólidos totales y los sólidos suspendidos. Si la determinación es directa se filtra una muestra a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio en un crisol Gooch; el filtrado se evapora en una cápsula de paso conocido sobre un baño María y el residuo de la evaporación a 103 – 105 °C. El incremento de peso sobre la capsula vacía representa los sólidos disueltos o residuo filtrable.
- **Sólidos suspendidos (residuo no filtrable o material no disuelto):** Son determinados por filtración a través de un filtro de asbesto o de fibra de vidrio, en un crisol Gooch previamente pesado. El crisol con su contenido se seca a 103 – 105 °C; el incremento de peso, sobre el peso inicial, representa el contenido de sólidos suspendidos o residuo no filtrable.
- **Sólidos volátiles y sólidos fijos:** En aguas residuales y lodos, se acostumbra a hacer una determinación con el fin de obtener una medida de la cantidad de materia orgánica presente. La determinación de sólidos suspendidos totales y sólidos suspendidos volátiles es importante para evaluar la concentración o “fuerza” de aguas residuales para determinar la eficiencia de las unidades de tratamiento biológico secundario.
- **Sólidos sedimentables:** La denominación se aplica a los sólidos en suspensión que se sedimentarán, bajo condiciones tranquilas, por acción de la gravedad. La determinación de sólidos sedimentables es básica para el diseño de tanques de sedimentación.

1.2.2.- Análisis químico del agua

1.2.2.1.- Grasas y aceites

En el lenguaje común, se entiende por grasas y aceites al conjunto de sustancias pobremente solubles que se separan de la porción acuosa y flotan formando natas, películas y capas iridiscentes sobre el agua, muy ofensivas estéticamente. En aguas residuales, los aceites, las grasas y las ceras son los principales lípidos de importancia.^[18]

El parámetro grasas y aceites incluyen los ésteres de ácidos grasos de cadena larga, compuestos con cadenas largas de hidrocarburos, comúnmente con un grupo ácido carboxílico en un extremo; materiales solubles en solventes orgánicos, pero muy insolubles en agua debido a la estructura larga hidrofóbica del hidrocarburo. Estos compuestos sirven como alimento para las bacterias, puesto que pueden ser hidrolizados en los ácidos grasos y al coholes correspondientes.^[18]

Las grasas y los aceites son muy difíciles de transportar en las tuberías del alcantarillado, reducen la capacidad del flujo de los conductos, son difíciles de atacar biológicamente y, generalmente, se requiere su remoción en plantas de pretratamiento. Su cuantificación es necesaria para determinar la necesidad del pretratamiento, la eficiencia de los procesos de remoción y el grado de contaminación por estos compuestos.^[1]

1.2.2.2.- Químicos

Cuantificar los químicos presentes en el agua es indispensable debido a que según el tipo de elemento y la concentración en que se encuentre, puede generar molestias o trastornos a la población. Los químicos a regular en un agua residual, son los siguientes:^[1]

- Arsénico
- Cadmio
- Cianuro
- Cobre
- Cromo hexavalente
- Mercurio
- Níquel
- Plomo
- Zinc

1.2.2.3.- Medida del contenido en compuestos orgánicos

Los métodos analíticos para contaminantes orgánicos se clasifican en dos grupos:

Grupo I. Métodos de evaluación para la demanda de oxígeno

Demanda teórica de oxígeno (DTeO)

Corresponde a la cantidad estequiometría de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto. Normalmente se expresa en mg de oxígeno requerido por litro de solución, es un valor calculado y sólo puede evaluarse si se dispone de un análisis químico completo del agua residual, lo cual no es normalmente el caso. En consecuencia su utilización es muy limitada. ^[27]

Demanda química de oxígeno (DQO)

La demanda química de oxígeno es la cantidad de oxígeno que se requiere para oxidar químicamente el material orgánico. En la determinación de DQO todo el material orgánico biodegradable y no biodegradable es químicamente oxidado por el dicromato de potasio en medio ácido en la presencia de un catalizador. ^[27]

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para oxidación de la materia orgánica biodegradable presente en la muestra de agua y como resultado de la oxidación bioquímica aerobia en un periodo de 5 días. ^[27]

La demanda de oxígeno de las aguas residuales es resultado de tres tipos de materiales:

- 1) materiales orgánicos carbónicos, utilizables como fuente de alimentación por organismos aerobios
- 2) nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco, y en general compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (*Nitrosomonas* y *Nitrobacter*)
- 3) compuestos químicos reductores (ion ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto).

En las aguas residuales domésticas, casi toda la demanda de oxígeno se debe a materiales orgánicos carbónicos, el agua puede clasificarse en excelente, buena, aceptable, contaminada y fuertemente contaminada según su demanda de oxígeno tal y como se indica en la tabla 1.1.

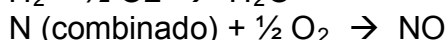
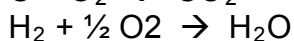
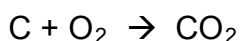
Tabla 1.1 Clasificación de aguas residuales en función de la DBO_5

Criterio (mg/L)	Clasificación	Características
$\text{DBO}_5 \leq 3$	Excelente	No contaminada
$3 \leq \text{DBO}_5 \leq 6$	Buena calidad	Aguas superficiales con bajo contenido de materia orgánica
$6 \leq \text{DBO}_5 \leq 30$	Aceptable	Con indicio de contaminación. Aguas contaminadas con capacidad de autodepuración o con descargas de aguas tratadas biológicamente
$30 \leq \text{DBO}_5 \leq 120$	Contaminada	Aguas superficiales con descargas de aguas residuales crudas, principalmente de origen municipal
$\text{DBO}_5 \geq 120$	Fuertemente contaminada	Aguas superficiales con fuerte impacto de descarga de aguas residuales crudas municipales y no municipales

(CONAGUA, subdirección general técnica, 2007)

Demanda total de oxígeno (DTO)

La DTO mide el total de oxígeno consumido basándonos en las siguientes reacciones químicas para el proceso de combustión catalítica: ^[27]

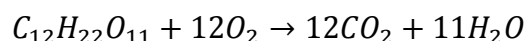


Grupo II. Métodos para evaluación de parámetros de contenido en carbono

Carbono orgánico teórico (COTe)

Teniendo en cuenta que la demanda teórica de oxígeno (DTeO) mide oxígeno y que el carbono orgánico teórico (COTe) mide carbono, la relación entre la DTeO y COTe se calcula rápidamente de acuerdo con los cálculos estequiométricos de la ecuación de oxidación. ^[27]

La ecuación representa la oxidación total de la sacarosa:



Peso molecular: (12 x 12) (12 x 32)

$$\frac{DTeO}{COTe} = \frac{12 \times 32}{12 \times 12} = 2.67$$

La relación entre pesos moleculares de oxígeno y carbono es 2,67. De esta forma la relación teórica entre la demanda de oxígeno y el carbono orgánico se corresponde con la relación estequiométrica de oxígeno y carbono para la oxidación total de los compuestos orgánicos en consideración. La relación entre la DQO (o DBO) y la COT varían considerablemente de acuerdo con esta relación teórica.^[27]

Carbono orgánico total (COT)

El carbono orgánico total (COT) y los ensayos correspondientes se basan en la oxidación del carbono de la materia orgánica a dióxido de carbono, y determinación del CO₂ por absorción en hidróxido potásico (KOH) o por análisis instrumental (análisis infrarrojo).^[27]

1.2.3.- Análisis biológico del agua

El examen bacteriológico es importante porque permite determinar las características del agua en estado natural, a fin de realizar las siguientes acciones:^[18]

- Estudio del tipo de tratamiento efectuado
- Uso para consumo, recreación, irrigación, etcétera
- Clasificación de un curso de agua según tenga contacto con aguas residuales u otros desechos

También es importante porque permite realizar la medición de la eficacia de las plantas de tratamiento de agua: agua en estado natural, decantada, filtrada y clorada. Finalmente, permite efectuar un control de la potabilidad del agua distribuida. Cabe resaltar que la caracterización del agua depende del uso que se le va a dar.^[18]

La investigación de organismos patógenos en el agua es muy compleja. Además de las dificultades técnicas propiamente dichas, estas bacterias se encuentran en el agua en cantidad reducida y su llegada es intermitente. Como índice de su posible presencia en el agua, usamos otros organismos: los pertenecientes al grupo coliforme.^[1]

1.2.3.1.- Coliformes

Las bacterias del grupo coliformes se encuentran en el intestino, en las heces humanas y en las de animales de sangre caliente. Se denominan organismos coliformes a las bacterias gramnegativas en forma de bastoncillos, no esporuladas, aerobias y anaerobias facultativas y oxidasa negativa, capaces de crecer en presencia de sales biliares u otros compuestos tensoactivos; fermentan la lactosa a temperaturas de 35 ° C a 37 ° C con producción de ácido, gas y aldehído entre 24 y 48 horas. Pertenecen a este grupo los siguientes géneros: *Escherichia*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*.^[1]

1.2.3.2.- *Streptococos*

Además de los coliformes, también podemos examinar los estreptococos fecales en el agua. Estos organismos existen en menor cantidad que los coliformes en las heces de origen humano y no se multiplican en el agua. Las especies de origen fecal o intestinal pertenecen principalmente a dos géneros *Enterococcus* y *Streptococcus*.^[1]

Hay diversidad de opiniones en cuanto al valor de los estreptococos fecales como indicador de contaminación fecal. En investigaciones realizadas en países tropicales se plantea que estas bacterias pueden estar presentes de forma natural en las corrientes y no reflejan necesariamente el grado de contaminación de dichas aguas por lo que se considera la hipótesis de que la fuente de la alta concentración de bacterias indicadoras en las corrientes es el suelo.^[1]

Por otra parte, los riesgos asociados con las actividades en aguas naturales destinadas a la recreación en los que se incluyen enfermedades del tracto respiratorio superior y enfermedades gastrointestinales, infecciones del oído e infecciones de la piel han ocasionado que a algunos investigadores de Canadá recomienden como el indicador más apropiado en aguas marinas el grupo enterococo, porque sobreviven en ellas más que los coliformes fecales, también son el egido cuando hay un tiempo o distancia considerable entre la fuente de contaminación fecal y el área de baño. Además, existe una correlación positiva entre la enfermedad gastrointestinal y los niveles de enterococos en aguas marinas, aunque la ausencia de ellos no indique carencia de riesgo.^[1]

1.3.- ESTRATEGIA PARA LA REDUCCIÓN DE CONTAMINANTES

La estrategia correcta para un programa de reducción de la contaminación industrial es aquella en la que se tienen en cuenta todas las oportunidades para tratamiento de las aguas residuales integradas en el proceso básico de la actividad industrial.^[8]

Esencialmente la reducción de la contaminación de las aguas residuales en origen lleva consigo tres fases:^[8]

Fase 1.- Llevar a cabo una campaña de revisión de todos los efluentes de la planta. Esto significa hacer un inventario de todas las fuentes, así como para cada corriente de aguas residuales determinar los caudales y las cargas contaminantes.^[8]

- a) *Caudales.* Para caudales continuos basta con determinar dichas cifras (m³/h). Para cargas intermitentes se suele proceder a estimar o bien los totales diarios o bien los valores horarios y su evolución.
- b) *Cargas contaminantes.* La carga contaminante de las distintas corrientes se expresa de muy distintas formas. Para compuestos orgánicos que es tan sometidos a oxidación biológica, la demanda biológica de oxígeno (DBO) es la más normalmente empleada.

Fase 2.- Revisión de los datos obtenidos en la fase 1 para establecer los objetivos de reducción de la contaminación posibles.^[8]

Fase 3.- Evaluación de los ahorros potenciales en inversión y costes de operación de una posible planta de tratamiento, si los contaminantes de cada una de las corrientes consideradas en fase 1 y fase 2 se eliminan o se reducen.^[8]

La selección de los procesos de tratamiento de aguas residuales o la serie de procesos de tratamiento, dependen de un cierto número de factores, entre los que se incluyen:^[8]

- a) Características de la agua residual: DBO, materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- b) calidad del efluente de salida requerido.
- c) Coste y disponibilidad de terrenos; por ejemplo, ciertos tratamientos biológicos (lagunaje, estanques de estabilización) son económicamente viables únicamente en el caso de que se disponga de terrenos de bajo coste.
- d) Consideración de las futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertido más estrictos, que necesiten el diseño de tratamientos más sofisticados en el futuro.

1.4.- TRATAMIENTO DE AGUAS EN MÉXICO

1.4.1.- Normatividad

Los beneficios de contar con agua de calidad son innumerables, por esta razón, en México se ha creado un marco normativo que se encarga de regular las descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a través de las siguientes normas: ^[4]

Norma Oficial Mexicana NOM-001-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales.

Norma Oficial Mexicana NOM-002-SEMARNAT-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.

Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reusen en servicios públicos.

Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2001, que establece las especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes en lodos y biosólidos para su aprovechamiento y disposición final.

En la tabla 1.2 se muestran los principales parámetros y límites máximos permisibles de las normas oficiales mexicanas para el control de descargas de aguas residuales.

La preocupación por las descargas de las aguas residuales y sus efectos al medio ambiente ha dado lugar a la promulgación de leyes como la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente y la Ley de Aguas Nacionales, que establecen la necesidad de prevenir y controlar la contaminación del agua y proteger los recursos hídricos. En este mismo sentido, al inicio de cada nueva administración del Gobierno en México, se formula un Programa Nacional Hídrico alineado al Plan Nacional de Desarrollo, el Programa Nacional de Infraestructura, y demás programas que busquen la preservación y aprovechamiento sustentable de los recursos hídricos. ^[18]

Tabla 1.2 Parámetros y límites máximos permisibles de las normas oficiales mexicanas para el control de descargas de aguas residuales.

Parametro (mg/L, excepto cuando se especifique)	Límites máximos permisibles						
	NOM-001			NOM-002	NOM-003	NOM-004	TA
	(A)	(B)	C				
	PMPD	PMPD	PMPD				
				PMPD	PM CD/CI	TB TE	
Temperatura (°C)	NA 40/40	40/40	40/40	40	---	---	---
Grasas y Aceites	15/25	15/25	15/25	50/75	15/15	---	---
Materia flotante	AUSENTE			AUSENTE	AUSENTE	---	---
Sólidos sedimentables	1/2 NA	1/2	1/2	5/7.5	---	---	---
Sólidos suspendidos totales	100/200 NA	75/125	40/60	NOM-001	20/30	---	---
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO)	100/200 NA	75/150	30/60	NOM-001	20/30	---	---
Nitrógeno total	40/60 NA	40/60, 15/25 NA	15/25	---	---	---	---
Fósforo total	20/30 NA	20/30 NA, 5/10	5/10	---	---	---	---
Arsénico total	0.2/0.4 0.1/0.2	0.2/0.4 0.1/0.2	0.1/0.2	0.5/0.75	0.2	41 75	41
Cadmio total	0.2/0.4 0.1/0.2 0.05/0.1	0.2/0.4 0.5/1	0.1/0.2	0.5/0.75	0.2	39 85	39
Cianuro total	2/3 1/2	2/3 1/2	1/2	1/1.5	2	---	---
Cobre total	4/6	4/6	4/6	10/15	4	1500 4300	1500
Cromo total	1/1.5 0.5/1	1/1.5 0.5/1	0.5/1	0.5/0.7 (CrVI)	1	1200 3000	3000
Mercurio total	0.01/0.02 0.005/0.01	0.01/0.02 0.005/0.01	0.005/0.01	0.01/0.015	0.01	17 57	17
Níquel total	2/4	2/4	2/4	4/6	2	420 420	420
Plomo total	0.5/1 0.2/0.4 5/10	0.2/0.4 0.5/1	0.2/0.4	1/1.5	0.50	300 840	300
Zinc total	10/20	10/20	10/20	6/9	10	2800 7500	2800
pH	5-10			5.5-10	---	---	---
Coliformes fecales (NMP/100ml)	1000/2000	1000/2000	1000/2000	---	240/1000	CA 1000/g seca CB<2x10 ⁶ /g seca	---
Salmonela sp (NMP/g en base seca)	---	---	---	---	---	CA < 3 CB < 300	---
Huevos de Helminto	1 RNR 5 RR (H/L)	---	---	---	≤ 1/≤ 5 (H/L)	CA < 10/h/g seca CB< 35/h/g seca	---

1.4.2.- Programa Nacional Hídrico (PNH)

El Programa Nacional Hídrico (PNH) manifiesta el valor esencial que tiene el agua como elemento estratégico para atender las necesidades básicas de la población e impulsar el desarrollo de las actividades económicas del país, en un marco que antepone, el cuidado y preservación del medio ambiente para las futuras generaciones. ^[26]

Establece que el tratamiento de las aguas residuales es esencial para garantizar el ciclo del agua, por lo que se identificaron una serie de políticas prioritarias para alcanzar estas metas: ^[26]

1. Los municipios e industrias deben cumplir con la normatividad establecida en México en lo que se refiere a las descargas que son vertidas a los cuerpos de agua nacionales.
2. Asegurar el reuso de las aguas producidas, lo que puede contribuir a cubrir parte de los costos operativos de los organismos operadores; por ejemplo, al vender el agua a la industria.
3. Consolidar el reuso del agua residual tratada, así como su intercambio por agua de primer uso en aquellas actividades en que esta opción es factible.

1.4.3.- Fomento al tratamiento y reuso de aguas residuales

A partir de 2008, la CONAGUA ha impulsado el tratamiento de aguas residuales industriales, promoviendo la participación del sector industrial en sus diferentes giros, para la realización de obras y acciones de saneamiento y dotación de infraestructura. ^[29]

Muestra de ello es el decreto que compila diversos beneficios fiscales y establece medidas de simplificación administrativa, el cual establece que se otorgara estímulo fiscal a aquellos contribuyentes que cuenten con planta de tratamiento de aguas residuales, que además estén exentos del pago del derecho por descargas en términos de lo dispuesto en el artículo 282, fracción I de la Ley Federal de Derechos, siempre y cuando la descarga cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997, dicho estímulo se otorga por m³ tal como se muestra en la tabla 1.3. ^[29]

Tabla 1.3 Estímulo fiscal por m³ descargado

Zona de disponibilidad Aguas superficiales/Aguas subterráneas	Estímulo por m ³ descargado cumpliendo con los límites máximos permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM- 003-SEMARNAT-1997, para tipo de reúso en servicios al público con contacto indirecto	Estímulo por m ³ descargado cumpliendo con los límites máximo permisibles de la Norma Oficial Mexicana NOM-003-SEMARNAT-1997, para tipo de reúso en servicios al público con contacto directo
1	\$1.00	\$1.22
2	\$0.42	\$0.51
3	\$0.14	\$0.17
4	\$0.11	\$0.13

Diario oficial de la federación, 26 de diciembre de 2013

Se puede decir que los principales beneficios del tratamiento del agua residual se consideran intangibles y difíciles de valorar económicamente. El tratamiento de aguas residuales es un proceso productivo cuyo producto es el agua tratada, siendo una de sus finalidades la mejora del ambiente y de las condiciones sociales, al reducir el abatimiento de los cuerpos de agua. Por esta razón, el reúso debe ser una práctica común, informando a los usuarios acerca de los beneficios de usar agua residual tratada y sobre todo destacar en el reúso agrícola los beneficios económicos.^[4]

1.5.- NIVELES DE TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Para minimizar los posibles efectos negativos que puedan tener los compuestos contaminantes en las aguas efluentes, se utilizan diferentes niveles de tratamiento que dependerán fundamentalmente de los límites de vertido para el efluente y del tipo de contaminante que desee remover.

Los niveles de tratamiento de aguas residuales en general se clasifican en:

- Tratamiento primario
- Tratamiento secundario
- Tratamiento terciario

1.5.1.- Tratamiento primario

El tratamiento primario se emplea para la eliminación de los sólidos en suspensión y los materiales flotantes, impuesta por los límites, tanto de descarga al medio receptor como para poder llevar los efluentes a un tratamiento secundario, bien directamente o pasando por una neutralización u homogeneización.^[27]

Los tipos fundamentales de tratamientos primarios son: el cribado o desbrozo, la sedimentación, la flotación, la neutralización y homogeneización.

1.5.1.1.- Cribado o desbrozo

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 las mismas, y su limpieza se hace bien manualmente o mecánicamente. Los productos recogidos se destruyen bien por incineración, o se tratan por procesos de digestión anaerobia, o se dirigen directamente al vertedero. Las materias sólidas recogidas se suelen clasificar en finos y gruesos.^[27]

Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos. Generalmente es tan fabricadas de malla metálica de acero, o en base a placas o chapas de acero perforado y se usan muchas veces en lugar de tanques de sedimentación. Sin embargo, aunque puede llegarse a eliminar entre un 5 y un 25% de sólidos en suspensión, de un 40 a un 60% se eliminan por sedimentación. Por esta razón, y también porque el atascamiento es normalmente un problema, el uso de tamices finos o con abertura pequeña no es muy normal.^[27]

Las rejillas o cribas de gruesos tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 8 o 9 cm. Se usan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos. A veces se utilizan trituradoras en lugar de las rejillas de gruesos. Estos elementos rompen o desgarran los sólidos en suspensión, que se eliminan por sedimentación. ^[27]

1.5.1.2.- Sedimentación

La sedimentación se utiliza en los tratamientos de aguas residuales para separar sólidos en suspensión de las mismas. La eliminación de las materias por sedimentación se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que acaba en el depósito de las materias en suspensión. En algunos casos, la sedimentación es el único tratamiento al que se somete el agua residual. ^[27]

La sedimentación puede producirse en una o varias etapas o en varios de los puntos del proceso de tratamiento. En una planta típica de lodos activos, la sedimentación se utiliza en tres de las fases del tratamiento: ^[27]

1. En los desarenadores, en los cuales la materia inorgánica (arena, a veces) se elimina del agua residual;
2. En los clarificadores o sedimentadores primarios, que preceden al reactor biológico, y en el cual los sólidos (orgánicos y otros) se separan;
3. En los clarificadores o sedimentadores secundarios, que siguen al reactor biológico, en los cuales los lodos del biológico se separan del efluente tratado.

Tipos de sedimentación

Pueden considerarse tres tipos de mecanismos o procesos de sedimentación, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en suspensión: ^[1]

1. **Sedimentación discreta:** Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, o sea, no se somete a un proceso de coalescencia con otras partículas. En este caso, las propiedades físicas de las partículas (tamaño, forma, peso específico) no cambian durante el proceso. La deposición de partículas de arena en los desarenadores es un ejemplo típico de sedimentación discreta.
2. **Sedimentación con floculación:** La aglomeración de las partículas va acompañada de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación. La sedimentación que se lleva a cabo en los clarificadores o sedimentadores primarios es un ejemplo de este proceso.

3. **Sedimentación por zonas:** Las partículas forman una especie de manta que se sedimenta como una masa total presentando una interfase distinta con la fase líquida. Ejemplos de este proceso incluyen la sedimentación de lodos activos en los clarificadores secundarios y la de los flocúlos de alúmina en los procesos de tratamientos de aguas.

1.5.1.3.- Flotación

La flotación es un proceso para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas de una fase líquida. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (normalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas. La fase líquida se somete a un proceso de presurización para alcanzar una presión de funcionamiento que oscila entre 2 y 4 atmósferas, en presencia del suficiente aire para conseguir la saturación en aire del agua. Luego, este líquido saturado de aire se somete a un proceso de despresurización llevándolo hasta la presión atmosférica por paso a través de una válvula reductora de presión. En esta situación, y debido a la despresurización se forman pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución. Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas (por ejemplo aceites o petróleo) flotan, debido a que estas pequeñas burbujas, asociándose a los mismos, les obligan a elevarse hacia la superficie. Los sólidos en suspensión concentrados pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos. El líquido clarificado puede separarse cerca del fondo, y parte del mismo puede reciclarse.^[27]

En el campo de los tratamientos de aguas residuales, la flotación se usa para los siguientes objetivos:^[27]

1. Separación de grasas, aceites, fibras, y otros sólidos de baja densidad, de las aguas residuales.
2. Espesado de los lodos procedentes de los procesos de lodos activos.
3. El espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de los tratamientos de coagulación química.

Una superior calidad de los efluentes (efluentes conteniendo porcentajes menores de sólidos en suspensión), y una economía de energía pueden conseguirse con sistemas por flotación con recirculación.

Los componentes básicos de un sistema de flotación son:^[27]

1. bomba de presurización.
2. sistema para inyección de aire.
3. tanque de retención (para conseguir un contacto aire-líquido).
4. válvula reductora de presión.
5. tanque de flotación.

1.5.1.4.- Neutralización y homogeneización

El tratamiento de neutralización se utiliza normalmente en los siguientes casos que se presentan en la depuración de aguas residuales: ^[27]

1. Antes de la descarga de aguas residuales en un medio receptor. La justificación para la neutralización es que la vida acuática es muy sensible a variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a $\text{pH} = 7$.
2. Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal. La especificación del pH de las descargas industriales en las alcantarillas se hace de forma frecuente. Es más económico hacer una neutralización de las corrientes de aguas residuales industriales antes de descargar en el alcantarillado municipal que intentar hacer una neutralización de los mayores volúmenes de las aguas residuales mixtas combinadas domésticas e industriales.
3. Antes del tratamiento químico o biológico. Para los tratamientos biológicos, el pH del sistema se mantiene en un intervalo comprendido entre 6.5 y 8.5 para asegurar una actividad biológica óptima. El proceso biológico en sí mismo puede conseguir una neutralización, y en cualquier caso tiene una capacidad tampón como resultado de la producción de CO_2 , que da lugar a la formación de carbonatos y bicarbonatos en la solución. El grado de preneutralización requerido para el tratamiento biológico depende de dos factores, de la alcalinidad o acidez presente en el agua residual y los mg/l de DBO que deben eliminarse en el tratamiento biológico.

Métodos para la neutralización de aguas residuales

Los métodos para neutralización de aguas residuales incluyen: ^[27]

1. Homogeneización, que consiste en mezclar las corrientes, algunas de las cuales son ácidas y otras alcalinas, disponibles en la planta.
2. Métodos de control directo de pH, que consisten en la adición de ácidos (o bases) para neutralizar las corrientes alcalinas o ácidas.

La homogeneización se utiliza a menudo para otros objetivos a parte de la neutralización, como son: ^[27]

1. Aminorar las variaciones de ciertas corrientes de aguas residuales, intentando conseguir una corriente mezclada, con un caudal relativamente constante, que sea el que llegue a la planta de tratamiento.

2. Aminorar las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento. Con este propósito se utilizan tanques de homogeneización de nivel constante o variable.

1.5.2.- Tratamiento secundario

La expresión tratamiento secundario se refiere a todos los procesos de tratamiento biológico de las aguas residuales tanto aerobios como anaerobios, en los que se remueven principalmente los compuestos orgánicos mediante el uso de la oxidación bacteriana. Esta oxidación biológica se puede conseguir de varias maneras, siendo entre otros los métodos más comunes, los sistemas de lodos activos y filtros biológicos.

1.5.2.1.- Lodos activos

Este proceso nació de la observación realizada hace mucho tiempo de que si cualquier agua residual, urbana o industrial, se somete a aireación durante un período de tiempo se reduce su contenido de materia orgánica, formándose a la vez un lodo floculento. ^[25,27]

El examen microscópico de este lodo revela que está formado por una población heterogénea de microorganismos, que cambian continuamente en función de las variaciones de la composición de las aguas residuales y de las condiciones ambientales. Los microorganismos presentes son bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos y rotíferos. De éstos, las bacterias son probablemente las más importantes, encontrándose en todos los tipos de procesos de tratamiento biológico. ^[25,27]

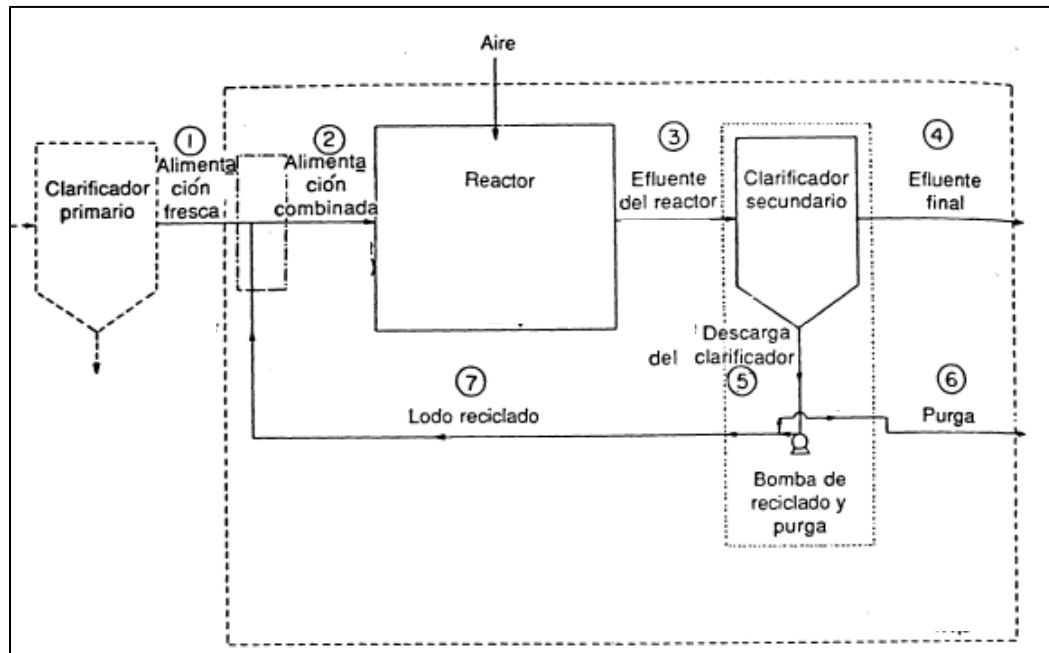


Figura 1.1 Proceso convencional de lodos activos

De la figura 1.1, las composiciones de las diferentes corrientes están caracterizadas por tres tipos de concentraciones mostradas a continuación. ^[25,27]

- **Concentración de la DBO soluble:**

La DBO soluble está formada principalmente por compuestos carbonosos en disolución. Debe hacerse hincapié en que el diseño de las plantas de lodos activos se basa en el consumo de la DBO soluble. Este consumo es el resultado del proceso de oxidación biológica que se presenta en el reactor. ^[25,27]

- **Concentraciones de los sólidos volátiles en suspensión (VSS):**

Los sólidos volátiles en suspensión corresponden a los lodos biológicos, constituidos por una población heterogénea de microorganismos. La determinación experimental de los VSS se lleva a cabo midiendo la pérdida de peso de los sólidos totales en suspensión después de incineración en una estufa de laboratorio a 600°C. Esta pérdida de peso corresponde principalmente a la volatilización del lodo biológico. Los sólidos remanentes después de la incineración a 600°C corresponden a los sólidos en suspensión no volátiles. ^[25,27]

- **Concentraciones de sólidos no volátiles en suspensión (NVSS):**

Su naturaleza es distinta de la de los lodos biológicos, estando constituidos por materia inerte tanto orgánica como inorgánica. ^[25,27]

1.5.2.2.- Filtros percoladores

Se ha desarrollado un tipo de reactor en el que se utiliza algún tipo de soporte del crecimiento biológico, que se mantiene fijo en él. Estos reactores se denominan *reactores de crecimiento biológico asistido*. Los filtros percoladores pertenecen a este tipo de reactores de crecimiento asistido. ^[27]

El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percola el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho de relleno mediante un distribuidor rotativo del flujo como se muestra en la figura 1.2. El agua residual percola en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo. ^[27]

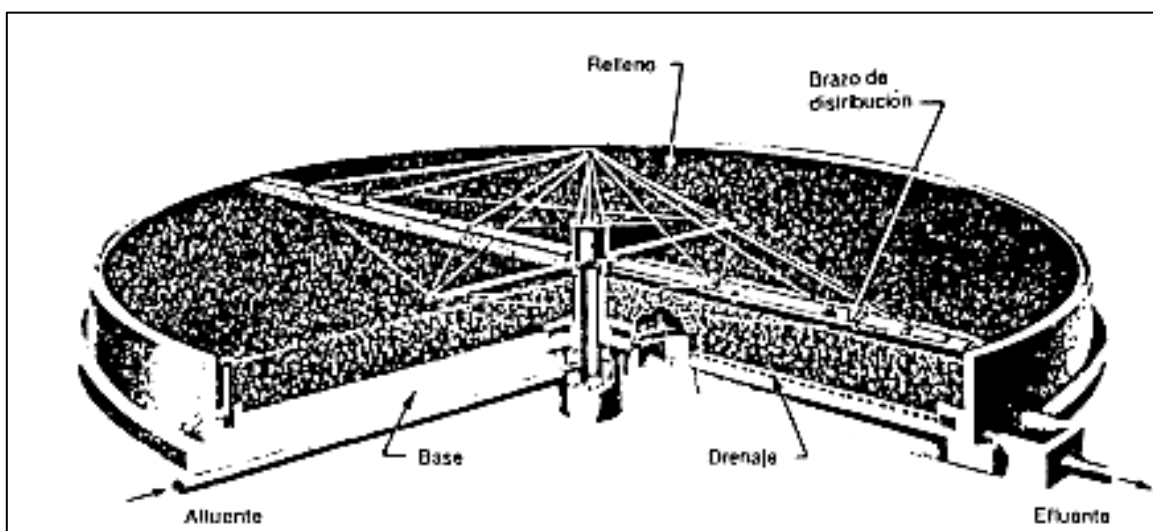


Figura 1.2 Diagrama de un filtro percolador típico

La capa del limo que se forma junto al relleno tiene un espesor total comprendido entre 0.1 y 2.0 mm está formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia. El espesor de la subcapa aerobia es función del caudal de agua residual aplicado y de su DBO. Cuanto mayor sea la DBO del afluente menor será el espesor de la subcapa aerobia, ya que se presenta un consumo más rápido de oxígeno. Por otra parte, los caudales elevados favorecen el mantenimiento de una subcapa aerobia más espesa debido al oxígeno disuelto suministrado con el afluente pulverizado. Para las cargas hidráulicas normalmente empleadas en los filtros percoladores, el caudal del agua residual a través del lecho del filtro se sitúa en la región laminar. El proceso biológico aerobio que tiene lugar en la subcapa aerobia el sustrato se oxida parcialmente para proporcionar la energía necesaria al proceso biológico. Otra parte del sustrato se utiliza para sintetizar nuevo material de constitución del limo. ^[27]

En la subcapa anaerobia, la degradación tiene lugar con formación de ácidos orgánicos, CH₄ y H₂S. En los filtros percoladores la materia orgánica y coloidal se

separa mediante oxidación aerobia, bi adsorción, coagulación y descomposición anaerobia. En esencia, no existe disminución de la carga orgánica por filtración mecánica.^[27]

1.5.2.3.- Filtros biológicos

Se trata de filtros con un material granular poroso (Biolite) que sirve de soporte a las bacterias, aseguran un cierto grado de depuración biológica, además de su efecto filtrante clásico.^[27]

La oxidación es aeróbica y se puede incrementar su eficiencia por inyección de aire en el agua por filtrar, para acercarse a la saturación en oxígeno disuelto. Los filtros de presión permiten una mayor disolución de oxígeno. Como todos los filtros de material granular, necesitan lavados periódicos a contracorriente. Su capacidad de depuración es limitada (30 ppm de DBO a 5 bar) se utilizan para aguas muy poco cargadas.^[27]

1.5.2.4.- Biodiscos (RBC)

Los biodiscos (RBC) son sistemas que fueron desarrollados para obtener el tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. En el caso de los RBC, la biomasa se presenta simultáneamente en la forma de crecimiento asistido (como en el caso de los filtros percoladores) y de crecimiento en suspensión (como en el caso de las unidades de lodos activos).^[27]

En una unidad típica de tres etapas. Cada etapa está formada por una serie de discos no muy separados, normalmente fabricados de poliestireno o polietileno con diámetros comprendidos entre 3 y 4m. Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros. Los ejes tienen longitudes de 7,5 m aproximadamente, pudiendo alojar de esta forma un gran número de discos, la superficie de los discos está aproximadamente el 40% sumergida en todo momento como se muestra en la figura 1.3. Los ejes giran continuamente a una velocidad comprendida entre 1 y 2 rpm. Se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos.^[27]

* RBC corresponde a las siglas de la expresión inglesa «Rotating Biological Contactors», que traducido literalmente sería al go as í como «Contactores biológicos rotativos». Independientemente de la fealdad de la expresión, se ha preferido utilizar «biodiscos» por ser la comúnmente aceptada en esta tecnología en castellano.^[27]

Algunas de las ventajas de los sistemas RBC sobre el proceso convencional de lodos activos son las siguientes:^[27]

1. Bajo consumo de energía y mantenimiento más sencillo.
2. Ya que es posible tener en cada etapa un cultivo biológico diferente se cuenta con un grado adicional de flexibilidad en el proceso. Puede conseguirse bastante nitrificación des arrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas.
3. La biomasa presenta en general buenas características de sedimentación con lo que se disminuye el coste de la clarificación secundaria.
4. No se necesita reciclado de la biomasa.

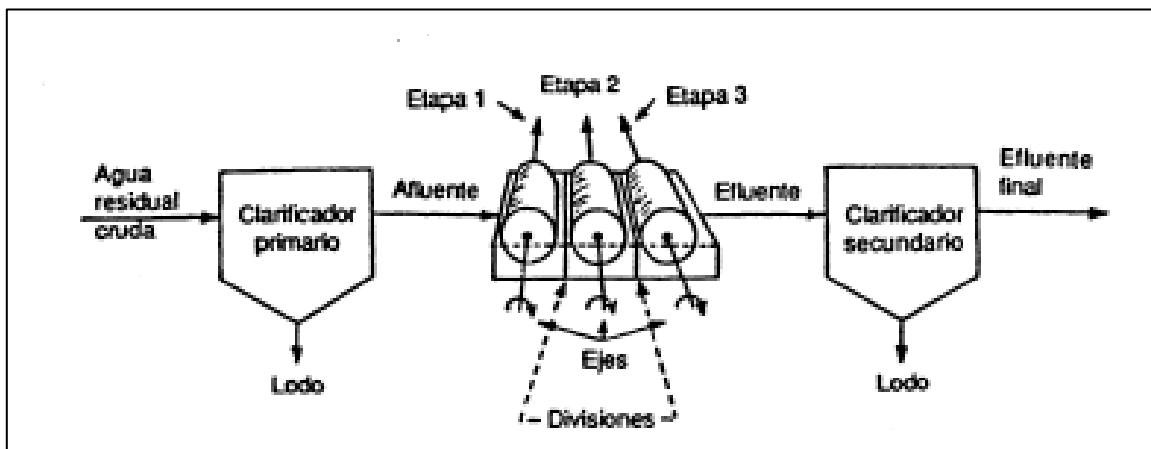


Figura 1.3 Esquema de una unidad RBC típica

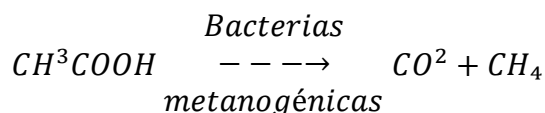
1.5.2.5.- Tratamiento anaerobio de las aguas residuales

El tratamiento anaerobio se utiliza tanto para las aguas residuales como para la digestión de los lodos. Los productos finales de la degradación anaerobia son gases, principalmente metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) y pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno (H_2S), mercaptano (RSH) e hidrógeno (H_2). El proceso comprende dos etapas: fermentación ácida y fermentación metánica, mientras que el diagrama de flujo se muestra en la figura 1.4.^[27]

En la *etapa de fermentación ácida*, los compuestos orgánicos complejos del agua residual (proteínas, grasas e hidratos de carbono) se hidrolizan en primer lugar para producir unidades moleculares menores, las cuales a su vez son sometidas a biooxidación, convirtiéndose principalmente en ácidos orgánicos de cadena corta, tales como acético ($\text{CH}_3\text{-COOH}$), propiónico ($\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$) y butílico ($\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-CH}_2\text{-COOH}$). Una población heterogénea de bacterias facultativas y anaerobias es responsable de estas reacciones de hidrólisis y oxidación. En la etapa de fermentación ácida no se produce una reducción importante de la DQO, ya que principalmente lo que ocurre es la conversión de las moléculas orgánicas

complejas en ácidos orgánicos de cadena corta que ejercen también una demanda de oxígeno.^[27]

En la *etapa de fermentación metánica*, “microorganismos metanogénicos” que son estrictamente anaerobios, convierten los ácidos de cadenas más largas a metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas. Las moléculas ácidas se rompen repetidamente dando lugar finalmente a ácido acético que se convierte en CO₂ y CH₄:^[27]



Algunas de las ventajas del tratamiento anaerobio sobre el aerobio son:^[27]

1. Ya que no se emplea equipo de aireación, se produce ahorro de coste de inmovilizado así como de consumo energético en el tratamiento anaerobio.
2. El coeficiente de producción de biomasa para los procesos anaerobios es mucho menor que para los sistemas aerobios. Esto significa que se produce menos biomasa por unidad de reducción de sustrato y en consecuencia se presentan ahorros considerables en los procesos de manejo y evacuación del exceso de lodo (purga). Esto significa también un menor requisito de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
3. En los procesos anaerobios es posible operar a carga orgánica del afluente superior que para el caso de los procesos aerobios. Este hecho resulta de la limitación de velocidad de la transferencia de oxígeno de los procesos aerobios.
4. La producción de metano en los procesos anaerobios es una ventaja debido a su valor como combustible. Una parte sustancial de la necesidad energética de los procesos anaerobios puede obtenerse de los gases emitidos.

Algunas de las desventajas del tratamiento anaerobio con respecto al aerobio son las siguientes:^[27]

1. Se necesitan mayores tiempos de residencia. En consecuencia, los costes de inversión, volumen de vasijas, son superiores en el tratamiento anaerobio.
2. Los malos olores asociados a los procesos anaerobios, debido principalmente a la producción de H₂S y mercaptanos, fundamentalmente en zonas urbanas.
3. Se necesitan mayores temperaturas para asegurar que los procesos anaerobios se producen a velocidades razonables. Normalmente, la temperatura de los procesos anaerobios está alrededor de los 35°C, lo que significa que puede necesitarse el precalentamiento de la alimentación o el calentamiento del reactor anaerobio. Sin embargo, este requisito energético puede no ser una desventaja seria, si una parte sustancial puede suministrarse a partir del gas metano producido.

4. La sedimentación de la biomasa anaerobia en el clarificador secundario es más difícil que la decantación de la biomasa en el proceso de lodos activos. Esto significa que los costes de inversión para la clarificación son superiores. Sin embargo, si el agua residual a tratar en el proceso anaerobio contiene una concentración elevada de sólidos en suspensión a los que pueda adherirse la biomasa, pueden conseguirse buenas condiciones de sedimentación en el clarificador secundario. Este es el caso de algunas aguas residuales industriales como las de las industrias de conservas de carne, mataderos, cerveza y conservas de pescado, a las que normalmente se aplica el tratamiento anaerobio.
5. La operación de las unidades anaerobias es más difícil que las aerobias, siendo el proceso más sensible a las cargas de choque.

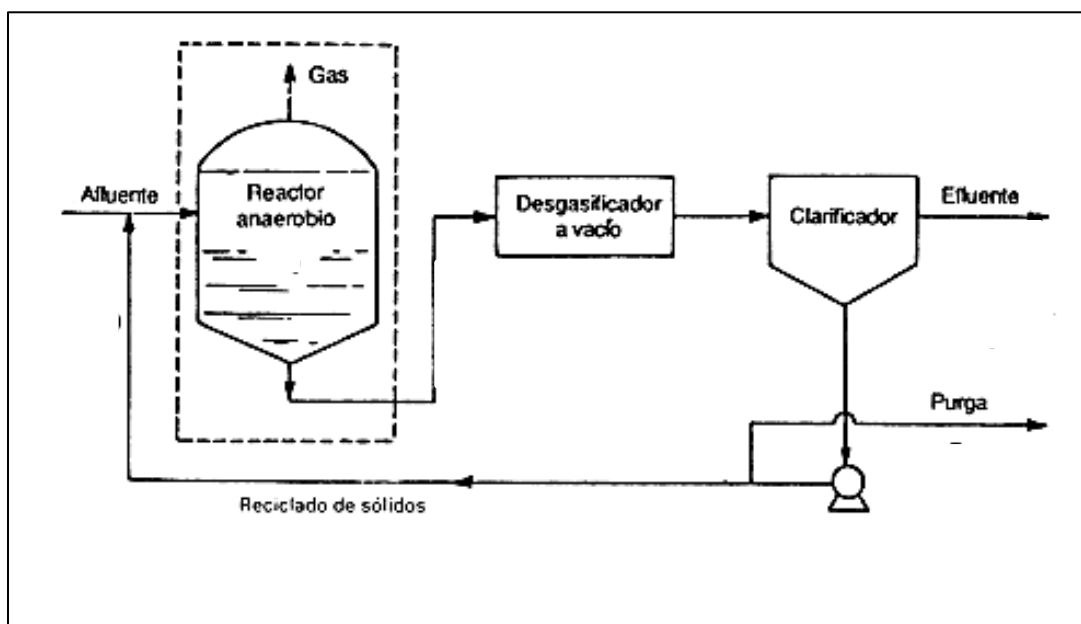


Figura 1.4 Diagrama de flujo del proceso anaerobio de contacto

1.5.3.- Tratamiento terciario

El tratamiento terciario (al que se conoce también como «tratamiento avanzado») es la serie de procesos destinados a conseguir una calidad del efluente superior a la del tratamiento secundario.

Muchos de estos procesos, actualmente no se emplean demasiado en el tratamiento de las aguas residuales, pero su empleo a mayor escala está previsto conforme las exigencias de calidad de los efluentes se hagan más estrictas en el futuro.

1.5.3.1.- Microtamizado

Los microtamices se construyen sobre tambores rotativos. El agua residual se alimenta de forma continua en la parte interior del tambor, fluyendo hasta una cámara de almacenamiento de agua clara en la parte exterior. La limpieza de la superficie interior del tambor se lleva a cabo mediante pulverizadores de agua clara, necesitándose normalmente del orden del 5% del volumen de alimentación para esta limpieza. Con el microtamizado se consiguen eliminaciones del 70-90% de los sólidos en suspensión. ^[27]

1.5.3.2.- Filtración

Se utiliza normalmente la filtración para conseguir rendimientos en la eliminación de sólidos en suspensión de hasta el 99%. Los materiales de relleno de los filtros más empleados son arena, antracita, carbón activado y tierra de diatomeas. ^[27]

El medio filtrante de cualquier filtro ha de cumplir los siguientes requerimientos: ^[27]

1. Ha de retener los sólidos a filtrar, dando lugar a un filtrado razonablemente claro.
2. No debe obstruirse o cegarse.
3. Ha de ser químicamente resistente y tener suficiente resistencia física para soportar las condiciones del proceso.
4. Ha de permitir que la torta formada se desprenda de una forma limpia y completa.
5. No ha de ser excesivamente caro.

Grava

Cuando el tamaño de los orificios del sistema de descarga de agua del filtro es más grande que el de las partículas del medio filtrante, se requiere un sistema de capas de grava de soporte para prevenir que el medio filtrante se escape y tape la salida del filtro. La grava, además ayuda a distribuir al fluido en los retrolavados para que sean más eficientes. ^[6]

La grava debe consistir en un material donde una gran porción de las partículas son redondeadas. Estas deben poseer gran dureza y resistencia a la degradación durante el manejo y uso. ^[6]

Tezontle

Por su gran porosidad, bajo costo y disponibilidad en el mercado, es ampliamente ocupado como material de soporte, ya sea para otros medios de filtración, como

para soporte de biopelícula para filtros que combinan la retención y adsorción de materia, con el tratamiento biológico que la degrada. ^[6]

Arena sílica

La arena de filtración de agua está compuesta por granos subangulares, duros, duraderos y densos de material predominantemente silíceo, por ello es llamada comúnmente arena de sílice o arena sílica, la misma es lavada, secada en horno y filtrada para satisfacer requerimientos más exigentes y respetar estrictamente el control de calidad. La arena sílica se utiliza como un medio granular filtrante en el tratamiento del agua potable y residual en filtros llamados de lecho profundo o multimedia. ^[6]

Antracita

El uso del carbón de antracita como medio filtrante data de los años 30. Este es un producto particular del carbón duro que es producido de carbones selectos de Pennsylvania. Estos carbones no son encontrados en su forma terminada y tienen pocas cenizas y friabilidad mientras que es alto en antraxylor. Después de la selección el carbón es limpiado (reducción de ceniza), Colado y clasificado a los tamaños apropiados para su propósito de filtración de agua.

Las ventajas sobre el uso de arenas de sílice, cuarzo y grava son: Mayores corridas entre retrolavados, Mayor rango de flujo sin pérdida de cabeza, menores presiones de retrolavado y/o cantidades, unamayor utilización de la masa de cama para filtración, y un área volumétrica de superficie mayor. ^[6]

Tierra diatomeas

La tierra diatomeas es una sílica extremadamente pura, formada por fósiles de plantas marinas unicelulares. Esta se mezcla con agua y se coloca dentro del filtro, donde se deposita sobre un tamiz de soporte o lienzo. Este techo poroso de Tierra diatomácea actúa como medio de filtrado. ^[6]

Durante la operación, se adiciona continuamente algo de tierra diatomácea al agua para, mantener la porosidad de la torta del filtro. El filtro se opera hasta que la caída de presión a través del filtro alcance un nivel preestablecido. Entonces se retrolava, y tanto el medio filtrante como el material filtrado se desechan. ^[6]

Carbón activado

El carbón activado es un sólido poroso, en polvo o forma granular, producto de cualquier materia prima que tenga un alto contenido de material carbonoso;

ejemplo: Madera, cascara de nuez, huesos animales, lodos de hidrocarburos, tierra turba, lignito, carbón bituminoso y carbón de antracita. El carbón absorbe compuestos orgánicos que producen olor, sabor, color o toxicidad. Reduce el cloro libre.^[6]

1.5.3.3.- Coagulación y floculación

Las aguas potables o residuales, en distintas cantidades, contienen material suspendido, sólidos que pueden sedimentar en reposo, o sólidos dispersados que no sedimentan con facilidad. Una parte considerable de estos sólidos que no sedimentan pueden ser coloides. En los coloides, cada partícula se encuentra estabilizada por una serie de cargas de igual signo sobre su superficie, haciendo que se repelan dos partículas vecinas como se repelen dos polos magnéticos. Puesto que esto impide el choque de las partículas y que formen así masas mayores, llamadas flóculos, las partículas no sedimentan. Las operaciones de coagulación y floculación desestabilizan los coloides y consiguen su sedimentación tal como se muestra en la figura 1.5, esto se logra por lo general con la adición de agentes químicos y aplicando energía de mezclado.^[31]

Los coagulantes empleados en el tratamiento físico-químico han sido objeto de múltiples investigaciones y pueden ser usados solos o en combinación. Las principales características de cada uno de los coagulantes más usados se enlistan a continuación.^[31]

- **Sulfato de aluminio**

El sulfato de aluminio es uno de los primeros coagulantes usados para el tratamiento de aguas. Este se produce con bauxita y ácido sulfúrico. Los mejores resultados en floculación se obtienen a un pH menor que las sales de hierro; es muy efectivo en la reducción de carbonatos y en muchos casos esta reducción es mayor al momento de la aplicación que lo que marca la teoría. Por esta razón, es uno de los floculantes de mayor uso, sin embargo su costo comparado con el de la cal suele ser muy alto.^[31]

- **Hidróxido de calcio y sulfato férrico**

La combinación de sulfato férrico e hidróxido de calcio da como resultado un coagulante muy efectivo para la clarificación de agua con alto índice de turbidez. Ambos químicos tienen un costo relativo muy bajo. El sulfato férrico es un producto comercial para la coagulación, su amplia zona de pH para la coagulación lo hace un químico aplicable en diversas condiciones. Las sales de hierro no forman compuestos solubles en pH alcalinos y por esta razón muy poco es encontrado en altos valores de pH. Excepto en

algunos casos en los que se requiere de remover color, la coagulación con sales de fierro a pH de 9 o más es recomendable. ^[31]

- **Cloruro férrico**

El cloruro férrico tiene una alta zona de pH óptimo para la coagulación pero no puede ser usado en pH bajos para la remoción de color. Su mayor uso ha sido para acelerar la precipitación y como acondicionador de lodos en donde se puede usar en combinación con la cal para obtener mejores resultados. ^[31]

- **Aluminato de sodio**

El aluminato de sodio es más caro que la mayoría de los coagulantes por eso su uso en tratamiento de aguas residuales es limitado. Sin embargo, es especialmente efectivo cuando se usa en combinación con hidróxido de calcio para el tratamiento de aguas para calderas, debido a que se ha demostrado que con este tratamiento se obtiene una cantidad muy baja de sales de calcio. ^[31]

- **Hidróxido de calcio**

La cal hidratada es un coagulante muy económico y da muy buenos resultados, trabajándolo a pH alcalinos entre 9–11. Algunas de las ventajas que se tienen con respecto a otros coagulantes de este tipo, es su capacidad de precipitar metales pesados (arsénico, cadmio, zinc, entre otros) que se encuentran en solución. El hidróxido de calcio es muy utilizado como coagulante ya que es eficaz con otros floculantes que trabajan a pH alcalinos. Otro beneficio del uso de este producto es su propiedad de eliminar olores, y a que también reacciona con materia orgánica y microorganismos. La cal reacciona con sales de calcio y magnesio precipitándolas para evitar incrustaciones en tuberías o equipos de transferencia de calor. La cal dolomítica ($\text{CaOH} + \text{MgOH}$) puede ser usada para precipitar silicatos en el agua evitando incrustaciones. ^[31]

Para complementar la adición del coagulante se requiere del mezclado para destruir la estabilidad del sistema coloidal. Para que las partículas se aglomeren deben chocar, y el mezclado promueve la colisión. El movimiento browniano, movimiento caótico comunicado a las partículas pequeñas al ser bombardeadas por moléculas individuales de agua, está siempre presente como una fuerza homogeneizadora natural. Sin embargo, así siempre es necesaria energía adicional de mezclado. Un mezclado de gran intensidad que distribuya al coagulante y promueva colisiones rápidas es lo más efectivo. También son

importantes en la coagulación la frecuencia y el número de colisiones entre las partículas. Así, en aguas de baja turbidez, puede requerirse la adición de sólidos para aumentar dichas colisiones. ^[31]

La floculación es el proceso que sigue a la coagulación, que consiste en la agitación de la masa coagulada que sirve para permitir el crecimiento y aglomeración de los flóculos recién formados con la finalidad de aumentar el tamaño y peso necesarios para sedimentar con facilidad. Estos flóculos inicialmente pequeños, crean al juntarse aglomerados mayores que son capaces de sedimentar. ^[31]

Suceden que los flóculos formados por la aglomeración de varios coloides no sean lo suficientemente grande como para sedimentar con rapidez deseada, por lo que el empleo de un floculante es necesario para reunir en forma de red, formando puentes de una superficie a otra enlazando las partículas individuales en aglomerados. La floculación es favorecida por el mezclado lento que permite juntar poco a poco los flóculos; un mezclado demasiado intenso los rompe y raramente se vuelven a formar en su tamaño y fuerza óptimos. La floculación no solo incrementa el tamaño de las partículas del flóculo, sino que también aumenta su peso. La floculación puede ser mejorada por la adición de un reactivo de floculación o ayudante de floculación. ^[31]

Los floculantes son polímeros o polielectrolitos con pesos moleculares muy elevados moléculas orgánicas solubles en agua formadas por bloques denominados monómeros, repetidos en cadenas larga. Estos floculantes pueden ser de naturaleza: mineral, orgánico natural y orgánico de síntesis. ^[31]

1. Floculantes Minerales

Se encuentra la sílice activada, que es el primer floculante empleado, que debe ser preparado antes de emplear, su preparación es tan delicada y presenta el riesgo de la gelatinización; produce la neutralización parcial de la alcalinidad de silicato de sodio en solución.

2. Floculantes Orgánicos Naturales

Son polímeros naturales extraídos de sustancias animales o vegetales. Los alginatos, cuya estructura polimérica son los ácidos manuránicos y los ácidos glucónicos.

3. Floculantes Orgánicos de Síntesis

Son los más utilizados y son macromoléculas de una gran cadena, obtenidos por asociación de monómeros sintéticos con masa molecular elevada de 106 a 107 g/mol, estos se clasifican de acuerdo a la ionicidad de los polímeros en aniónicos (generalmente copolímeros de la acrilamida y

del ácido acrílico), neutros o no iónicos (poliacrilamidas) y catiónicos (copolímero de acrilamidas + un monómero catiónico).^[31]

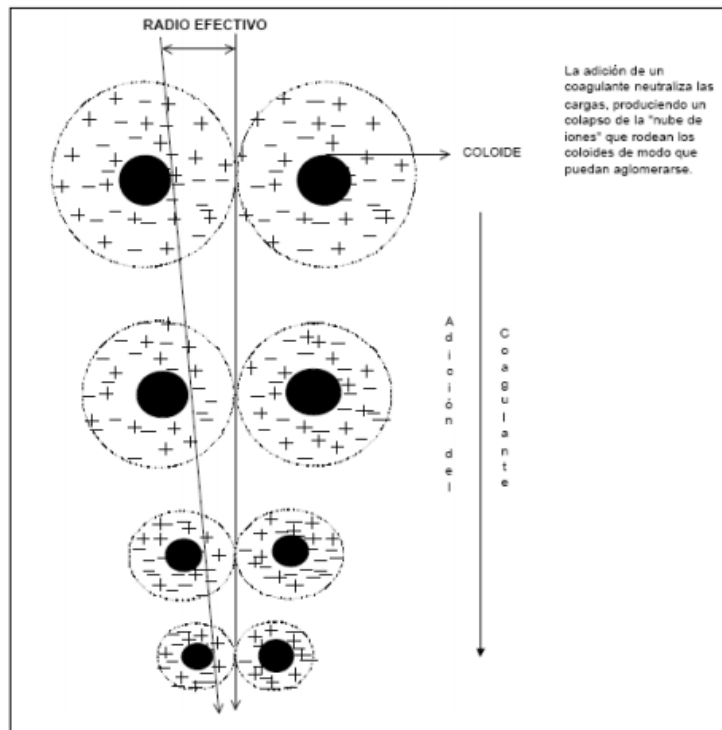


Figura 1.5 Desestabilización de coloide y compresión de la capa difusa

1.5.3.4.- Adsorción en carbón activo

Adsorción es la concentración de un soluto en la superficie de un sólido. Este fenómeno tiene lugar cuando se coloca dicha superficie en contacto con una solución. Una capa de moléculas de soluto se acumula en la superficie del sólido debido al desequilibrio de las fuerzas superficiales.^[27]

En el interior del sólido, las moléculas están rodeadas totalmente por moléculas similares y por lo tanto sujetas a fuerzas equilibradas. Las moléculas en la superficie están sometidas a fuerzas no equilibradas. Debido a que estas fuerzas residuales son suficientemente elevadas, pueden atrapar moléculas de un soluto que se halle en contacto con el sólido. Este fenómeno se denomina adsorción física (o de Van der Waals).^[27]

El sólido (por ejemplo, carbón activo) se denomina adsorbente y el soluto a adsorber se denomina adsorbato. La capacidad de adsorción es función de la superficie total del adsorbente, y a que cuanto mayor sea esta superficie se dispone de mayor número de fuerzas residuales no equilibradas para la adsorción.^[27]

Los carbones activos en forma de polvo, se han empleado como adsorbentes en las plantas de tratamiento de agua para eliminar los olores y sabores que producen los contaminantes. [27]

Preparación de los carbones activos

Los carbones activos se preparan a partir de materias primas carbonosas tales como madera, lignito, carbón y cáscaras 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 (tan elevadas como $1000 \text{ m}^2/\text{g}$). [27]

Reactivación de los carbones activos

La gran ventaja del carbón activo como adsorbente descansa en la posibilidad de reactivación (hasta 30 veces o más) sin pérdida apreciable de poder de adsorción. Usualmente la reactivación se lleva a cabo calentando el carbón agotado hasta 930°C aproximadamente en una atmósfera aire-vapor (reactivación térmica). Esta operación puede realizarse en hornos de hogar múltiple o en hornos rotativos. Los productos orgánicos adsorbidos se queman y el carbón activo se restaura básicamente hasta su capacidad inicial de adsorción. [27]

1.5.3.5.- Intercambio iónico

El intercambio iónico es un proceso en que los iones que se mantienen unidos a grupos funcionales sobre la superficie de un sólido por fuerzas electrostáticas se intercambian por iones de una especie diferente en disolución. Este procedimiento ha llegado a ser notablemente importante en el campo del tratamiento de las aguas residuales. [27]

Ya que la desmineralización completa puede alcanzarse mediante intercambio iónico, es posible utilizar procesos de tratamiento de corriente partida, en los que parte del agua residual afluyente se desmineraliza y se combina después con parte del afluyente que ha sido desviado del tratamiento para producir un efluente de calidad específica (por ejemplo, de una determinada dureza). [27]

Resinas de intercambio iónico

Hasta los años cuarenta las zeolitas naturales eran los únicos cambiadores de iones disponibles. La capacidad de intercambio era relativamente baja, lo que

limitaba la posibilidad económica del proceso en su aplicación al tratamiento de las aguas residuales. A partir de entonces, las zeolitas naturales han sido sustituidas por resinas sintéticas tales como estireno y divinil-benceno (DVB). Estas resinas son polímeros insolubles a los que se añaden grupos básicos o ácidos mediante reacciones químicas.

Estos grupos son capaces de intercambio reversible con los iones presentes en una disolución.^[27]

El número total de grupos funcionales por unidad de peso (o unidad de volumen) de resina determina la capacidad de intercambio, mientras que el tipo de grupo funcional determina la selectividad iónica y la posición del equilibrio de intercambio. Las partículas de resina tienen diámetros de 0,5 mm aproximadamente y se emplean en columnas rellenas utilizando caudales de aguas residuales de 200 a 500 l/(min)(m²).^[27]

Existen dos tipos básicos de intercambiadores iónicos, los catiónicos y los aniónicos.^[27]

Intercambiadores catiónicos

Las resinas de intercambio catiónico separan los cationes de una solución, intercambiándolos por iones sodio (ciclo del sodio) o por iones hidrógeno (ciclo del hidrógeno).^[27]

Ciclo del sodio: $Na_2R + M^{2+} \rightleftharpoons MR + 2Na^+$

o

Ciclo del hidrogeno: $H_2R + M^{2+} \rightleftharpoons MR + 2H^+$

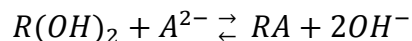
R indica la resina y M²⁺ el catión (por ejemplo, Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺).

Los iones Cu²⁺, Zn²⁺, Ni²⁺, Ca²⁺, Mg²⁺ quedan retenidos sobre la resina y se produce un efluente ablandado. Este efluente ablandado contiene principalmente sales de sodio (si se emplea el ciclo del sodio) o ácido (si se emplea el ciclo del hidrógeno).^[27]

Cuando la capacidad de intercambio de la resina se agota, la resina debe regenerarse. Antes de la regeneración, la columna debe lavarse a contracorriente para eliminar los depósitos de sólidos. La regeneración consiste en el paso a través de la columna de una solución de salmuera (ClNa para el ciclo del sodio) o de una solución ácida, normalmente H₂SO₄ o HCl (para el ciclo del hidrógeno). Las concentraciones típicas del regenerante son del 2 al 5% en peso con caudales de 40-80 l/(min)(m²).^[27]

Intercambiadores aniónicos

Las resinas intercambiadoras aniónicas separan aniones de una solución intercambiándolos por iones oxhidrilo. La separación viene representada por:



R indica la resina y A^{2-} representa un anión.

De esta forma, aniones tales como SO_4^{2-} , CrO_4^{2-} , etc., se eliminan de la solución. La regeneración se hace después de la ruptura, normalmente precedida por lavado a contracorriente para eliminar los depósitos de sólido. Los regenerantes normalmente usados son hidróxidos de sodio y amonio.^[27]

Las concentraciones normales de regenerante son del 5-10% en peso. Normalmente los intercambiadores catiónicos y aniónicos se emplean en serie.^[27]

1.5.3.6.- Ósmosis inversa

En el tratamiento de aguas residuales mediante ósmosis inversa, el afluente contaminado se pone en contacto con una membrana adecuada a una presión superior a la presión osmótica de la solución. Bajo estas circunstancias, el agua con una cantidad muy pequeña de contaminantes pasa a través de la membrana. Los contaminantes disueltos se concentran en el compartimento del agua residual. Este concentrado, que posiblemente sea una pequeña fracción del volumen total de agua residual a tratar, se descarga. Se obtiene agua purificada en el otro compartimento.^[27]

El principio en el que se basa la ósmosis inversa se representa por la figura 1.6 mostrada a continuación.^[27]

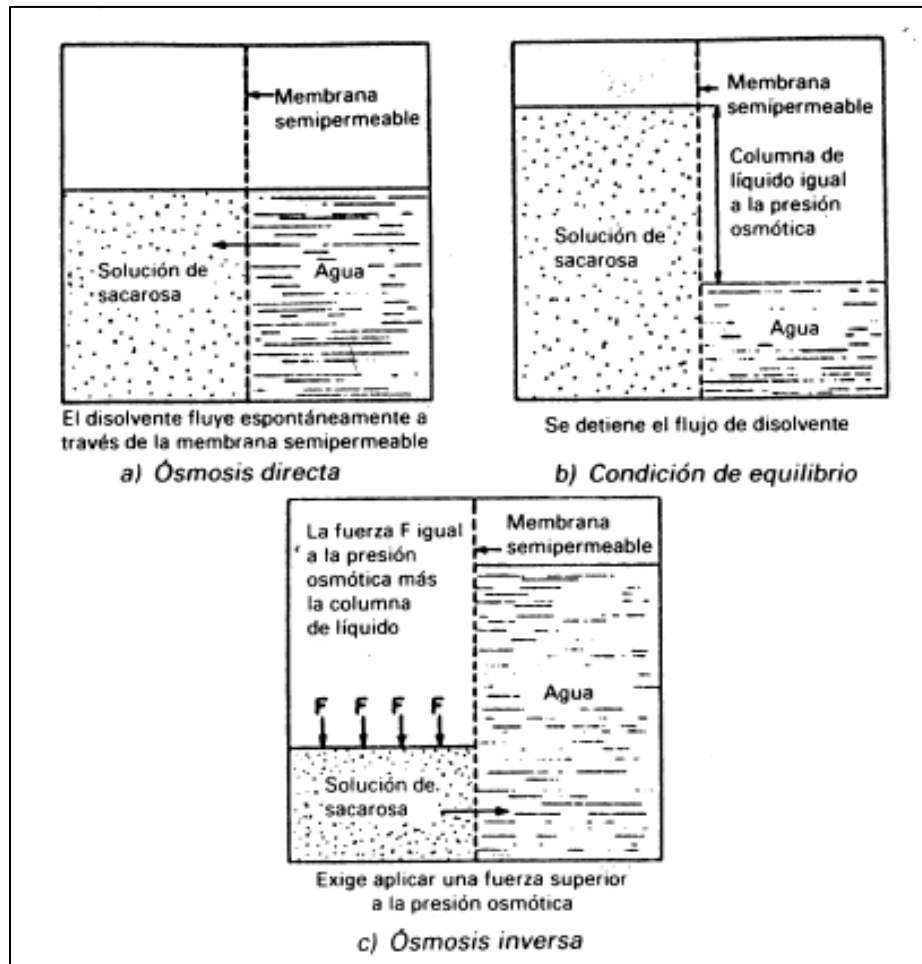


Figura 1.6 Principio de la ósmosis inversa

Dónde:

- representa la ósmosis directa. El disolvente fluye espontáneamente a través de la membrana semipermeable.
- se representa la condición de equilibrio. En este momento la altura del líquido que se ha desarrollado como consecuencia del flujo de disolvente a través de la membrana es igual a la presión osmótica. El flujo de disolvente se detiene.
- se representa lo que sucede cuando se aplica una fuerza F superior al valor de la presión osmótica a la solución de sacarosa. El flujo de disolvente se invierte, o sea, desde el compartimento conteniendo la solución de sacarosa al compartimento de agua. Este fenómeno se denomina ósmosis inversa.

En la práctica, el proceso de ósmosis inversa se lleva a cabo mediante un sistema de configuración tubular como se muestra en la figura 1.7. El agua residual fluye

bajo presión elevada (superior al valor de su presión osmótica) a través de un tubo interior formado por material semipermeable y proyectado para soportar presiones elevadas. El agua purificada se separa en el tubo exterior, que se encuentra a presión atmosférica y está fabricado de material ordinario. ^[27]

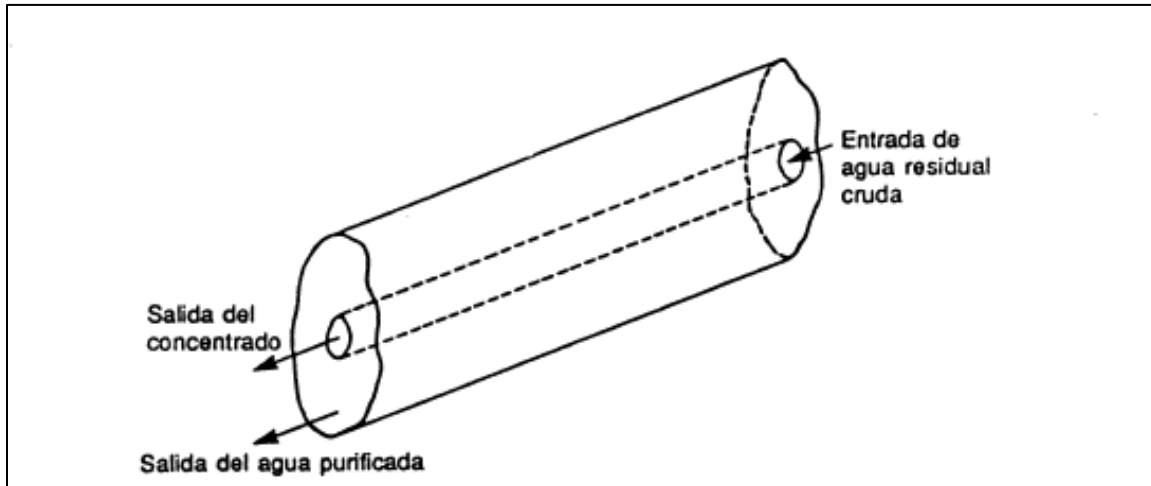


Figura 1.7 Diagrama de un sistema tubular para el tratamiento de las aguas residuales mediante la ósmosis inversa

1.5.3.7.- Procesos de oxidación química (cloración y ozonación)

Cloración de las aguas residuales

La cloración es un proceso muy usado en el tratamiento de aguas residuales industriales y urbanas, los objetivos de la cloración se resumen como sigue: ^[27]

1. **Desinfección**

Fundamentalmente el cloro es un desinfectante debido a su fuerte capacidad de oxidación, por lo que destruye o inhibe el crecimiento de bacterias y algas.

2. **Reducción de la DBO**

El cloro produce una reducción de la DBO por oxidación de los compuestos orgánicos presentes en las aguas residuales.

3. **Eliminación o reducción de colores y olores**

Las sustancias que producen olor y color presentes en las aguas residuales se oxidan mediante el cloro. La capacidad oxidante del cloro se emplea para el control del olor y la eliminación del color en muchos tratamientos industriales.

4. **Oxidación de los iones metálicos**

Los iones metálicos que están presentes en forma reducida se oxidan por el cloro (por ejemplo, ferroso a férrico y manganeso a mangánico).

5. **Oxidación de los cianuros**

El cloro produce una acción oxidante en los cianuros convirtiéndolos en productos inocuos

Las dosis típicas de cloro requeridas para desinfección se presentan en la tabla 1.4 mostrada a continuación.^[27]

Tabla 1.4 Dosis típicas de cloro en desinfección

Tipo de efluente	Intervalo de dosificación (mg/l)
Aguas residuales sin tratar (precloración)	6-25
Sedimentación primaria	5-20
Planta de precipitación química	2-6
Filtro precolador	3-15
Lodo activo	2-8
Filtro múltiple seguido de planta de lodos activos	1-5

Ozonación de las aguas residuales

La oxidación química con ozono es un método efectivo para tratar las aguas residuales, basándose en los siguientes factores:

1. El ozono reacciona fácilmente con los productos orgánicos no saturados presentes en las aguas residuales.
2. La tendencia a la formación de espuma de las aguas residuales se reduce después del tratamiento con ozono.
3. La ruptura de los anillos y la oxidación parcial de los productos aromáticos deja a las aguas residuales más susceptibles de tratamiento convencional biológico.
4. El ozono presente en el efluente se convierte rápidamente a oxígeno una vez que ha servido a sus fines. Este oxígeno es beneficioso para las corrientes receptoras y ayuda a mantener la vida acuática. Por el contrario, el cloro (que es el agente más ampliamente usado para eliminar las bacterias) permanece en el efluente y se convierte en contaminante.^[27]

CAPÍTULO 2.- EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES EN UNA TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARTO DE PEMEX REFINACIÓN

2.1.- IMPORTANCIA DEL TRATAMIENTO DE AGUA

Actualmente el tratamiento de agua residual es indispensable dentro de este centro de trabajo debido a que el agua tratada es utilizada principalmente en su uso contra incendio, por lo que es vital disponer siempre de ella para el combate de cualquier posible contingencia, así como para las prácticas, simulacros y cursos que se imparten en este centro de trabajo.

Además del uso contra incendio, el agua tratada es utilizada para el riego de las áreas verdes, con lo que se contribuye a la infiltración del agua al subsuelo para la posterior recarga de los mantos acuíferos.

2.2.- CARACTERIZACIÓN DEL EFLUENTE

El conocimiento de la naturaleza de las aguas residuales es fundamental para el correcto diseño y operación de las instalaciones de recolección, tratamiento y disposición de las mismas. Las aguas residuales se caracterizan por ser una mezcla de contaminantes físicos, químicos y biológicos, con propiedades específicas. Las características varían dependiendo del origen del agua residual.^[8]

El efluente generado por las actividades de almacenamiento y reparto de combustible del centro de trabajo de PEMEX se divide en tres actividades básicas, el uso contra incendio, el uso sanitario y el lavado periódico de las instalaciones, así también dentro de las instalaciones, se capta el agua de lluvia el cual pasa a ser parte del efluente.

2.2.1.- Agua contra incendio

Ante una posible contingencia con alguno de los combustibles que se almacenan en la terminal, ya sea gasolina Magna, gasolina Premium o Diesel, se cuenta con un tanque de almacenamiento de agua por cada tanque de almacenamiento de combustible, dicho tanque tiene una capacidad suficiente para combatir la contingencia al menos por cuatro horas.

Debido a que se siguen estrictas medidas de seguridad a raíz de lo ocurrido en esta misma terminal en el año 1996, no ha vuelto a ocurrir una contingencia que amerite el uso de agua, por lo que su uso se limita a las actividades relacionadas a la prevención y capacitación del personal durante los simulacros, pruebas de operación de los equipos e instalaciones contra incendio y las prácticas contra incendio impartidas al personal.

Los simulacros se realizan con el fin de que todo el personal de la terminal esté capacitado en lo que tiene que hacer en caso de que se dé una situación real. Por lo que al tratarse de un simulacro que involucre fuego, deben entrar en acción los equipos y las instalaciones relacionadas con su combate.

Las pruebas de operación de los sistemas contra incendio se realizan para verificar que los equipos y las instalaciones relacionadas con el combate contra incendio estén en condiciones óptimas para dicho propósito.

Mientras que las prácticas contra incendio se encargan de capacitar al personal, tanto en el uso adecuado de los equipos, como los procedimientos que deben seguir para el combate contra incendio.

El agua utilizada para dichas actividades proviene de la planta de tratamiento de agua residual ubicada dentro de la misma terminal, esta agua al ser utilizada, no altera su composición ya que no pasa por algún proceso en donde se adicionen componentes al agua más que tierra o sedimentos que pudiera arrastrar y dependiendo del área en que se utilice, podría arrastrar trazas de aceite, pero al ser un área donde hay vertido aceite, esta agua pasaría al drenaje aceitoso.

2.2.2.-Agua sanitaria

El agua para usos sanitario es utilizada para la eliminación de los desechos orgánicos generados por el personal que labora en la planta así como para su limpieza personal, por lo que al agua además de agregarle materia orgánica, se le adiciona detergente, cloro y otros productos de limpieza.

El agua utilizada es agua potable proveniente del sistema de suministro municipal, que al ser utilizada se convierte en aguas negras, debido principalmente a la materia orgánica.

2.2.3.- Agua para lavado de las instalaciones

El agua para lavado es agua potable proveniente del sistema de suministro municipal, es utilizada para el lavado de patios y oficinas por lo que solo se le

adicionan productos de limpieza y la suciedad que removi6 de las instalaciones, por lo que la podemos clasificar como aguas grises.

Tambi6n es utilizada para el lavado de autotanks, esto en el 6rea de talleres por lo que esta agua con residuos de detergente y contenido de hidrocarburos, pasa al drenaje aceitoso.

2.2.4.- Agua fluvial

Dentro de la terminal se capta el agua de lluvia a trav6s del drenaje fluvial, la cual es dirigida hacia el c6rcamo de recuperaci6n, adem6s se utilizan los diques de contenci6n de los tanks de almacenamiento de combustible para retener una mayor cantidad de agua y aumentar as6 la capacidad de captaci6n de agua de lluvia.

2.2.5.- An6lisis fisicoqu6mico del efluente generado por la planta

El an6lisis fisicoqu6mico fue realizado el 25 de febrero de 2015 en la descarga al sistema de alcantarillado municipal, esto con la finalidad de verificar que el efluente cuente con las caracter6sticas establecidas por la NOM-002-SEMARNAT-1996, la cual establece los l6mites m6ximos permisibles de contaminantes en la descarga de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal dicho an6lisis se muestra en las tablas 2.1, 2.2 y 2.3.

Tabla 2.1 An6lisis Fisicoqu6mico (1ra Parte)

Par6metro	L6mite M6ximo Permisible Promedio Diario	M6nimo	M6ximo	Promedio	M6todo
Grasas y Aceites (mg/L)	75	19.8	27.4	23.7	NMX-AA-005-SCFI-2013
Temperatura (°C)	40	19.50	22.30	20.50	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad (µs/cm)	*N.S.I.	459.00	538.00	528.50	NMX-093-SCFI-2000
pH	5.5-10	7.23	7.75	7.49	NMX-AA-008-SCFI-2011
Gasto (L/s)	**N.A.	0.116	0.142	0.128	**N.A.

*N.S.I. → No Se Indica

**N.A. → No Aplica

Tabla 2.2 Análisis Físicoquímico (2da Parte)

Parámetro	Límite máximo permisible Promedio diario (mg/L)	Resultado (mg/L)	Método
DBO ₅	150	91.37	NMX-AA-028-SCFI-2001
Cianuros	1.5	<0.005	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cromo Hexavalente	0.75	<0.022	NMX-AA-044-SCFI-2001
Arsénico	0.75	<0.003	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cadmio	0.75	<0.010	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cobre	15	<0.100	NMX-AA-051-SCFI-2001
Mercurio	0.015	<0.003	NMX-AA-051-SCFI-2001
Níquel	6	<0.200	NMX-AA-051-SCFI-2001
Plomo	1.5	<0.100	NMX-AA-051-SCFI-2001
SAAM	*N.S.I.	2.797	NMX-AA-039-SCFI-2001
DQO	*N.S.I.	172.42	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
Zinc	9	0.0672	NMX-AA-051-SCFI-2001
Sólidos Sedimentables	7.5	<0.100	NMX-AA-004-SCFI-2013
Sólidos Suspendidos	125	60.00	NMX-AA-034-SCFI-2001

*N.S.I. → No Se Indica

Tabla 2.3 Análisis del Material Flotante

Número de Muestra Simple	Hora del Muestreo	Materia Flotante
1	09:45	Ausente
2	12:45	Ausente
3	15:45	Ausente
4	18:45	Ausente
5	21:45	Ausente
6	00:45	Ausente

2.3.- CARACTERIZACIÓN DE LAS INSTALACIONES

La función de esta terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX radica en el almacenamiento y la distribución de combustibles tales como gasolina PEMEX Magna, PEMEX Diesel, y gasolina PEMEX Premium, su función principal no es el tratamiento de aguas, sin embargo este es de vital importancia para garantizar el suministro de agua para el combate de cualquier posible contingencia.

Dentro de este centro de trabajo se cuenta con tres sistemas de drenaje (sanitario, fluvial y aceitoso), nueve fosas sépticas, una fosa A Pl, un cárcamo de recuperación de efluentes, un cárcamo de descarga al sistema de alcantarillado municipal, un tanque de recuperación, un tanque desnatador, un sistema de filtración en paralelo que consta de 8 filtros, una fuente de aireación y 2 cisternas donde se recibe el agua tratada para posteriormente ser enviada a los tanques de almacenamiento de agua para su disposición final.

2.3.1- Drenaje

El sistema de drenaje consiste en una serie de redes de tuberías y obras complementarias necesarias para recibir, conducir y evacuar las aguas residuales, los escurrimientos superficiales producidos por las lluvias y los vertidos de hidrocarburos, para su tratamiento y posterior reuso o disposición final.

La terminal cuenta con tres tipos de drenajes; el sanitario, el fluvial y el aceitoso.

La red de drenaje sanitario se encarga de desalojar el agua sanitaria utilizada en los baños de las oficinas administrativas, la casa de bombas, las casetas de vigilancia, la torre de operación, la caseta de inspectores, el comedor, las oficinas de seguridad industrial y protección ambiental, las oficinas de mantenimiento, los laboratorios y las oficinas de poliducto. Cuenta con fosas sépticas para la separación de los desechos sólidos, esto para que reutilizar esa agua sea más sencillo; dichas fosas se limpian cada 6 meses mediante un vehículo de desazolve.

La red de drenaje fluvial se encarga de desalojar el agua proveniente de las descargas atmosféricas en toda la terminal, principalmente en las calles, diques y patios; esta red aprovecha los diques de contención de cada tanque de almacenamiento de producto para retener el agua de lluvia y así aumentar la capacidad de captación de agua para su posterior tratamiento y aprovechamiento.

La red de drenaje aceitoso, se encarga de llevar las descargas de hidrocarburos, principalmente aceites, de la casa de bombas, el área de poliducto, las llenaderas de autotankers, los talleres y los tanques de almacenamiento de combustibles (para la recuperación de producto en caso de derrame), hacia la fosa API para su separación y posterior recuperación.

2.3.2.- Fosas sépticas

La fosa séptica es un tanque de sedimentación usualmente cerrado a través del cual fluye el agua residual mientras que los sólidos son retenidos, dichos sólidos se dejan descomponer por acción de las bacterias anaerobias presentes en la materia orgánica.

La terminal cuenta con 9 fosas sépticas a lo largo de la red de drenaje sanitario, dichas fosas deben limpiarse cada 6 meses, esto para evitar que los sólidos retenidos se incorporen al flujo de salida de la fosa y lleguen al cárcamo de recuperación.

2.3.3.- Cárcamo de recuperación y final

El cárcamo de recuperación recibe el agua desalojada por el drenaje fluvial, la descarga de agua de las fosas sépticas y la descarga de agua por exceso de la fosa API, para posteriormente conducirlos al sistema de tratamiento de agua, este cárcamo también cuenta con un vertedero, así cuando el agua residual llega a un nivel alto, esta pasa a través del vertedero hacia el cárcamo final, el cual está conectado al sistema de alcantarillado municipal, y así descargando el exceso de agua (generalmente en la época de lluvias).

La figura 2.1 muestra la vista en planta del cárcamo final y el cárcamo de recuperación al fondo.



Figura 2.1 Cárcamo de recuperación y final

2.3.4.- Fosa API

Los separadores API son tanques rectangulares diseñados para la separación del hidrocarburo disperso en el agua, normalmente son las primeras unidades de tratamiento de las aguas con alto contenido de hidrocarburo.

Consta básicamente de cuatro secciones, en la primera entra el agua proveniente del drenaje aceitoso, así como agua del cárcamo de recuperación esto con el fin de mantener un nivel de operación en la siguiente sección, en la cual el agua y el hidrocarburo se separa por diferencia de densidad teniendo así el hidrocarburo en la parte superior y el agua en la inferior, lo que permite mediante mamparas separarlos, una mampara se encarga de separar el agua de la parte inferior y conducirla a la sección de recuperación de agua, mientras que otra mampara se encarga de recuperar el hidrocarburo que se encuentra en la parte superior por decantación hacia la sección de recuperación de hidrocarburo.

La figura 2.2 muestra la vista en planta de la fosa API con su entrada de agua por la izquierda mientras la salida del lado derecho ya por separado el agua por la parte inferior (por la bomba azul) y el hidrocarburo por la parte superior (por la bomba negra).



Figura 2.2 Fosa API

2.3.5.- Tanque de recuperados

El tanque de recuperados funciona como un sistema de separación y decantación final entre el agua y los hidrocarburos, antes de que los hidrocarburos sean enviados al tanque de contaminados (TV-08).

En este tanque se separa el agua de los hidrocarburos provenientes de la sección de recuperación de hidrocarburo de la fosa API, siendo los hidrocarburos más pesados y por tanto más densos, se quedan en la parte superior mientras que el agua es purgada por la parte inferior y de vuelta a la entrada de la fosa API, mientras que el hidrocarburo es llevado al tanque de recuperados.

En la figura 2.3 se muestra la vista en planta del tanque de recuperados a un costado de la fosa API.



Figura 2.3 Tanque de recuperados

2.3.6.- Tanque desnatador

Es uno de los sistemas más sencillos utilizados para tratar las aguas efluentes a fin de eliminarles los sólidos presentes en las mismas por simple separación por gravedad. La entrada de agua se encuentra ubicada generalmente en la pared del tanque, pero a lejada de la entrada a fin de dar le el mayor tiempo de residencia posible (alrededor de tres horas) al agua dentro del tanque para que ocurra la separación.

Tiene una capacidad de 80 m^3 y opera a un 80% de su capacidad, a este tanque se introduce un 90% de agua proveniente del cárcamo de recuperación y un 10% de agua proveniente de la sección de agua de la fosa API.

En la figura 2.4 se muestra la vista en planta del tanque desnatador justo por encima del sistema de filtración en paralelo.



Figura 2.4 Tanque desnatador

2.3.7.- Sistema de filtración en paralelo

El sistema de filtración se encarga de separar los sólidos presentes en el agua principalmente por mecanismos de retención y adsorción. Tiene un arreglo en paralelo con 8 filtros tal como se muestra en la figura 2.5, teniendo 2 filtros en operación y 6 de reserva.



Figura 2.5 Sistema de filtración en paralelo

El lecho de cada filtro consiste en una capa de 1.7m de tezontle con diámetro de partícula de 19mm ($\frac{3}{4}$ "), una capa de 0.7m de grava con diámetro de partícula de 13mm ($\frac{1}{2}$ ") y aproximadamente 0.1m de arena sílica de 2mm ($\frac{5}{64}$ ") tal como se muestra en la figura 2.6. Dichos materiales de filtración son reemplazados cada año, el material se tiene que desechar conforme a lo dispuesto en la NOM-004-SEMARNAT-2002 como se indica en el anexo A-3.

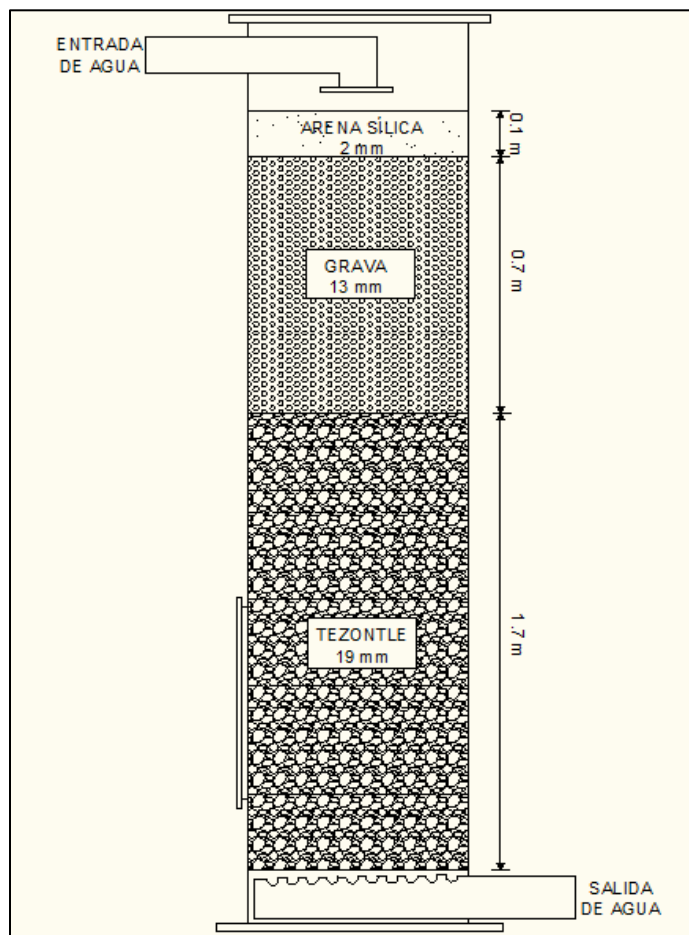


Figura 2.6 Lecho de filtración

2.3.8.- Fuente de aereación

La fuente de aereación tiene un arreglo en cascada por donde fluye el agua con el fin de introducir el oxígeno requerido por las bacterias para la degradación de la materia orgánica antes de la etapa de cloración.

La figura 2.7 muestra la vista en planta de la fuente de aereación.



Figura 2.7 Fuente de aereación

2.3.9.- Cisternas de agua tratada

Para recibir el agua tratada del sistema de tratamiento se cuenta con dos cisternas, la primera cisterna (TC-02) recibe el agua procedente del sistema de filtración en paralelo para posteriormente enviarla a la fuente de aereación de donde se mandará a la segunda cisterna (TC-03) en donde se le adicionarán 500ml de hipoclorito de sodio (NaClO) para posteriormente mandarla a los tanques de almacenamiento de agua contra incendio correspondientes (TV-01, TV-02 o TV-07).

En la figura 2.8 se muestra la cisterna TC-02 del lado izquierdo mientras que la cisterna TC-03 se muestra a la derecha.



Figura 2.8 Tanques cisterna

2.3.10.- Balance de masa

El balance de masa se realizó en base a los datos estimados de operación con los que trabaja la planta, los cuales se muestran a continuación:

- **Fosas sépticas.**
Se cuenta con 9 fosas sépticas con una capacidad de 300L cada una, en donde se retienen los residuos sólidos, los cuales se desechan cada 6 meses mediante un camión de desazolve. El agua residual generada por el uso sanitario, pasa de cada una de las fosas al cárcamo de recuperación a razón de $1.8 \text{ m}^3/\text{lote}$, por lo que para llegar a la capacidad de operación del cárcamo se requiere de 4 días en la época de estiaje.
- **Cárcamo final.**
Cuenta con una capacidad de 20 m^3 , y al superar esta capacidad se descarga el agua al sistema de alcantarillado. Del cárcamo final se descarga al sistema de alcantarillado municipal un flujo de $11 \text{ m}^3/\text{lote}$, generalmente en la época de lluvias.
- **Cárcamo de recuperación.**
Cuenta con una capacidad de 80 m^3 , al superar esta capacidad el agua es vertida al cárcamo final. De este cárcamo se envía un flujo de $57.6 \text{ m}^3/\text{lote}$ al tanque desnatador (equivalente al 90% de su capacidad de operación).
- **Fosa API.**
Cuenta con una capacidad de 54.1094 m^3 para la retención de agua, su capacidad de operación es de 52.7894 m^3 , esto para asegurar un nivel de

1.32 m que permita la separación entre el agua y los hidrocarburos por lo que es necesario suministrarle agua del drenaje pluvial o de la cámara de recuperación para mantener esta capacidad constante en caso de ser necesario. De esta fosa se envía un flujo de $6.4 \text{ m}^3/\text{lote}$ de la sección de agua al tanque desnatador (equivalente al 10% de su capacidad de operación).

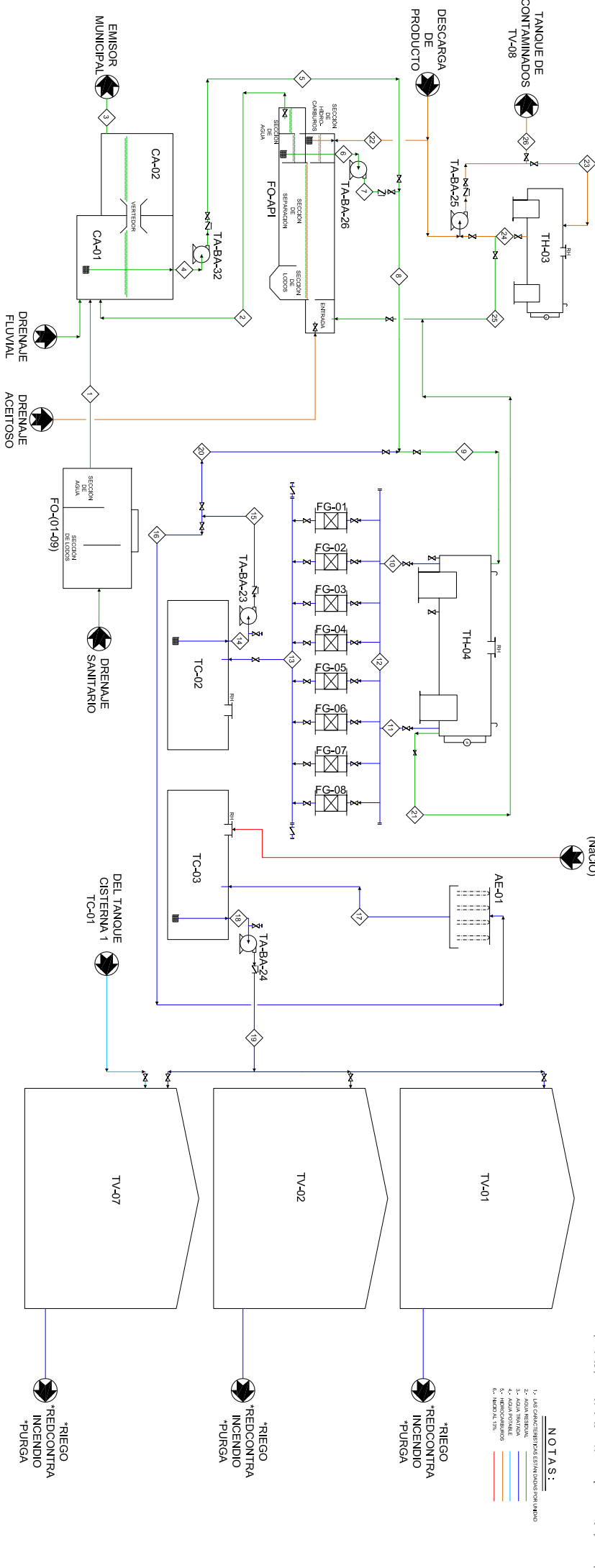
- Tanque de recuperados.
Cuenta con una capacidad de 2.88 m^3 y opera a 2 m^3 . Recibe un flujo de $2 \text{ m}^3/\text{lote}$ de la sección de hidrocarburos de la fosa API una vez al mes, este flujo consta de 90% de agua y 10% de hidrocarburos, los cuales se separan por diferencia de densidad y se envían al tanque de contaminados TV-08 mientras que el agua se envía de vuelta a la fosa API.
- Tanque desnatador y cisternas.
El tanque desnatador tiene una capacidad de 80 m^3 y opera a 64 m^3 , recibe un flujo de $64 \text{ m}^3/\text{lote}$, de donde se envía al tren de filtración y de ahí a la cisterna TC-02 esto en 2 partes, es decir, primero se manda la mitad del flujo contenido en el tanque (32 m^3) y después la otra mitad restante, de la cisterna 2 se envían los primeros 32 m^3 a la fuente de aeración y de ahí a la cisterna TC-03 donde se le adiciona $\frac{1}{2} \text{ L}$ de hipoclorito de sodio (NaClO) concentrado al 13%. Para así ser enviada a los tanques de almacenamiento de agua, los 32 m^3 restantes en el tanque pasaran por el mismo procedimiento para completar así los $64 \text{ m}^3/\text{lote}$ que genera la planta de tratamiento.

Con dichos datos se genera la tabla de balance de masa con las corrientes del diagrama de flujo de proceso, dicha tabla forma parte del mismo el cual se muestra en la siguiente sección.

2.3.11.- Diagrama de flujo de proceso (DFP) de la planta de tratamiento de agua residual

Se realizó el diagrama de flujo de proceso en base a los equipos descritos anteriormente con la finalidad de mostrar de manera más clara el proceso de tratamiento de agua residual.

COMPONENTE	CORRIENTE																									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
AGUA RESIDUAL	m³/lotc	2	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc	m³/lotc
AGUA TRATADA		2	11	57.6	57.6	6.4	6.4	64		32	32	64	64	64	64	64	64	64	64	64	2	1.8	1.8	1.8	1.8	
HIDROCARBUROS																						0.2	0.2	0.2	0.2	
PRESIÓN (atm)	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697	0.7697
TEMPERATURA (°C)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20



NOTAS:

- 1- LAS CARACTERÍSTICAS ESTÁNDAR PARA EL DISEÑO
- 2- AGUA RESIDUAL
- 3- AGUA TRATADA
- 4- AGUA DE ALMACENAMIENTO
- 5- HIDROCARBUROS
- 6- AGUA DE SODIO

CLAVE	SERVICIO	CARACTERÍSTICAS
TV-08	TANQUE DE AGUA CONTAMINADA	V = 45 m³
CA-02	CÁLCULO DE SODIO	V = 50 m³
CA-01	CÁLCULO DE SODIO	V = 50 m³
TH-03	TANQUE DE RESERVA	V = 50 m³
TH-04	TANQUE DE RESERVA	V = 50 m³
TC-02	TANQUE DE RESERVA	V = 50 m³
TC-03	TANQUE DE RESERVA	V = 50 m³
AE-01	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	V = 1500 m³
TV-01	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	V = 1500 m³
TV-02	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	V = 1500 m³
TV-07	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	V = 1500 m³
FG-01	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-02	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-03	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-04	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-05	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-06	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-07	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
FG-08	FLUJO DE SODIO A TIEZONTE	D = 0.61 m, H = 2.7 m
TA-BA-25	BOMBA CENTRÍFUGA	P = 15 HP
TA-BA-26	BOMBA CENTRÍFUGA	P = 15 HP
TA-BA-32	BOMBA CENTRÍFUGA	P = 24 HP

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
MÉXICO D.F.

PROYECTO DE ALMACENAMIENTO Y REPARO DE FENIX
TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARO DE FENIX
COMPLETADO A LA INICIACIÓN DEL PROYECTO

TERMINAL DE ALMACENAMIENTO Y REPARO DE FENIX
REFINACIÓN
DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL

REVISIÓN: 0

2.3.12.- Descripción del proceso de la planta de tratamiento de agua residual en función del DFP

El agua residual proveniente del drenaje sanitario entra a su respectiva fosa séptica donde se retienen los sólidos mientras que el agua es dirigida al CA-01 (línea 1) donde se une al agua captada de lluvia y al agua en exceso de la FO-API (línea 2), el agua del cárcamo es enviada al TH-04 mediante la bomba TA-BA-32 (línea 4 y 5), así mismo llega agua residual combinada con hidrocarburo a través del drenaje aceitoso hacia la FO-API, dentro de la fosa se separa el hidrocarburo del agua, de la sección de agua, se envía el agua residual al TH-04 mediante la bomba TA-BA-26 (líneas 6 y 7), por lo que el agua del CA-01 y de la FO-API (líneas 5 y 7) se unen para llegar al TH-04 (líneas 8 y 9).

Después de 3 horas como mínimo dentro del TH-04, el agua se envía por gravedad (líneas 10 y 11) hacia el cabezal de distribución del sistema de filtración (línea 12), el agua pasa a través de 2 de los FG's y se recibe en la TC-02 (línea 13), de donde se manda mediante la TA-BA-23 al AE-01 (líneas 14, 15 y 16) y se recibe en la TC-03 (línea 17) donde se le adiciona $\frac{1}{2}$ litro de hipoclorito de sodio, posteriormente se envía el agua tratada por medio de la bomba TA-BA-24 hacia el TV-01, TV-02 o al TV-07 según se requiera (línea 19) para su distribución a la red contra incendio o riego de áreas verdes.

Cuando el agua residual rebasa el límite de operación del CA-01, esta se vierte hacia el CA-02 para su posterior descarga al sistema de alcantarillado municipal (línea 3).

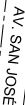
En la sección de hidrocarburo de la FO-API se recibe producto sobrante de los autotanks para su posterior recuperación, se envía el hidrocarburo mediante la TA-BA-25 hacia el TH-03 (líneas 22 y 23) de donde se separa por diferencia de gravedad el hidrocarburo del agua, el agua de la parte inferior del tanque se envía a la entrada de la fosa (línea 24 y 25) mientras que el hidrocarburo se envía al TV-08 (líneas 24, 23 y 26).

Para mantener el nivel de operación de la FO-API, se le suministra agua proveniente del TH-04 (línea 21), mientras que si por alguna razón el agua en la TC-02 tuviera presencia de hidrocarburo, esta se puede recircular al TH-04 (líneas 14, 15, 20 y 9), para posteriormente regresarla a la FO-API.

En caso de que la planta de tratamiento de agua residual dejará de operar por alguna razón, para asegurar el suministro de agua a los tanks, la TC-01 de agua potable se puede alinear hacia el TV-07, así mismo el TV-11 que almacena agua potable, se puede alinear a la red si se llegara a requerir.

2.3.13.- Plano de localización general (PLG) de la terminal de almacenamiento y reparto

Se utiliza el plano de localización general con la finalidad de identificar y ubicar cada uno de los drenajes con los que cuenta esta terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX, dicha ubicación de drenajes atiende las diversas necesidades del proceso, ya que dependiendo de la zona de la planta será el tipo de drenaje utilizado, observando que en las áreas operativas se tienen redes de drenaje aceitoso con la finalidad de captar los residuos de hidrocarburo que se lleguen a derramar. Mientras que el drenaje sanitario se encuentra ubicado cerca de las oficinas ya que es este encargado de captar los desechos generados por los trabajadores. Con lo que el drenaje fluvial principalmente se localiza en las zonas con mayor captación de agua de lluvia como los diques de contención y en los cruces de las calles de la terminal. En este también se identifican los equipos y las instalaciones involucradas en el tratamiento de agua como las fosas sépticas y la conexión al sistema de alcantarillado municipal.



NOMENCLATURA:

- 1.- DRENAJE SANITARIO
- 2.- DRENAJE FLUVIAL
- 3.- DRENAJE ACETOSO
- 4.- DRENAJE A EMISOR MUNICIPAL
- 5.- A PLANTA DE TRATAMIENTO
- 6.- REGISTRO FLUVIAL
- 7.- REGISTRO ACETOSO
- 8.- REGISTRO A EMISOR MUNICIPAL
- 9.- REGISTRO SANITARIO
- 10.- FOSA SÉPTICA

[illegible]

2.3.14.- Análisis fisicoquímico y microbiológico del efluente de la PTAR

El análisis fisicoquímico y microbiológico fue realizado el 25 de febrero de 2015 en la descarga del sistema de tratamiento de aguas, esto con la finalidad de verificar que el efluente cuente con las características establecidas por la NOM-001-SE-MARNAT-1996, la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas o bienes nacionales. Publicada el 6 de enero de 1997 en materia de descarga a suelos, dicho análisis se muestra en las tablas 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 y 2.8.

Tabla 2.4 Análisis Fisicoquímico (1ra Parte)

Parámetro	Límite Máximo Permisible Promedio Diario	Mínimo	Máximo	Promedio	Método
Temperatura (°C)	40°C	18.90	24.60	21.30	NMX-AA-007-SCFI-2013
Conductividad (µs/cm)	*N.S.I.	954	997	981	NMX-093-SCFI-2000
pH	5.5-10	7.31	7.81	7.57	NMX-AA-008-SCFI-2011
Gasto (L/s)	**N.A.	0.274	0.343	0.307	**N.A.

*N.S.I. → No Se Indica

**N.A. → No Aplica

Tabla 2.5 Análisis Fisicoquímico (2da Parte)

Parámetro	Límite Máximo Permisible Promedio Mensual (mg/L)	Límite Máximo Permisible Promedio Diario (mg/L)	Resultado (mg/L)	Método
Grasas y Aceites	15	25	8.4	NMX-AA-005-SCFI-2013
Fósforo	N.S.I.	N.S.I.	1.322	NMX-AA-029-SCFI-2001
DQO	N.S.I.	N.S.I.	200.38	NMX-AA-030/1-SCFI-2012
Nitrógeno	N.S.I.	N.S.I.	11.7	NMX-AA-026-SCFI-2010

*N.S.I. → No Se Indica

Tabla 2.6 Análisis Fisicoquímico (3ra Parte)

Parámetro	Límite máximo permisible Promedio mensual (mg/L)	Límite máximo permisible Promedio diario (mg/L)	Resultado (mg/L)	Método
DBO ₅	N.S.I.	N.S.I.	100.510	NMX-AA-028-SCFI-2001
Cianuros	2.0	3.0	<0.005	NMX-AA-058-SCFI-2001
Cromo Hexavalente	0.5	1.0	<0.100	NMX-AA-044-SCFI-2001
Arsénico	0.2	0.4	<0.003	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cadmio	0.05	0.1	<0.010	NMX-AA-051-SCFI-2001
Cobre	4.0	6.0	<0.100	NMX-AA-051-SCFI-2001
Mercurio	0.005	0.01	<0.003	NMX-AA-051-SCFI-2001
Níquel	2.0	4.0	<0.200	NMX-AA-051-SCFI-2001
Plomo	5.0	10.0	<0.100	NMX-AA-051-SCFI-2001
Zinc	10.0	20.0	0.0658	NMX-AA-051-SCFI-2001
Sólidos Sedimentables	N.S.I.	N.S.I.	<0.100	NMX-AA-004-SCFI-2013
Sólidos Suspendidos	N.S.I.	N.S.I.	80.900	NMX-AA-034-SCFI-2001

*N.S.I. → No Se Indica

Tabla 2.7 Análisis de Material Flotante

Número de Muestra Simple	Hora del Muestreo	Materia Flotante
1	10:15	Ausente
2	13:15	Ausente
3	16:15	Ausente
4	19:15	Ausente
5	22:15	Ausente
6	03:36	Ausente

Tabla 2.8 Análisis Microbiológico

Parámetro	Límite Máximo Permisible Promedio Mensual	Límite Máximo Permisible Promedio Diario	Resultado	Método
Coliformes Fecales (NMP/100mL) 1	1000	2000	1100	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales (NMP/100mL) 2	1000	2000	460	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales (NMP/100mL) 3	1000	2000	460	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales (NMP/100mL) 4	1000	2000	1100	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales (NMP/100mL) 5	1000	2000	460	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales (NMP/100mL) 6	1000	2000	460	NMX-AA-042-1987
Coliformes Fecales (NMP/100mL) MG	1000	2000	615	NMX-AA-042-1987
Huevos de Helminto (h/L)	1	1	0	NMX-AA-113-SCFI-2012

CAPÍTULO 3.- PROPUESTA DE MODIFICACIÓN PARA EL TRATAMIENTO DE AGUAS RESIDUALES

Los análisis de aguas presentados en el capítulo anterior avalan el cumplimiento de la norma NOM-001 para el uso de riego que se le da al agua tratada dentro de la terminal, y la norma NOM-002 para la descarga de agua residual al sistema de alcantarillado.

Sin embargo el reuso del agua tratada para servicios al público (uso contra incendio), está regido por la NOM-003-SEMARNAT-1997, y en este caso el efluente no cumple con las especificaciones de dicha norma en materia de DBO_5 y sólidos suspendidos totales como se muestra en la tabla 3.1.

Tabla 3.1 Parámetros actuales y límites permisibles

Tipo de Reusó	DBO_5 mg/L		SST mg/L	
	Límite Máximo	Resultado	Límite Máximo	Resultado
Servicios al público con contacto directo	20	100.510	20	80.900
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	30	100.510	30	80.900

Debe de tomarse en consideración que el tipo de uso que se le da al agua, al tener un uso contra incendio y ser utilizada solo durante los simulacros y las pruebas de funcionamiento de las persianas e hidrantes entre otros, se clasifica como contacto indirecto u ocasional, por lo que se debe plantear un sistema de tratamiento que reduzca en un 70.1522% el valor de la DBO_5 y un 62.9171% la cantidad de sólidos suspendidos totales.

Con dichas reducciones se tendría un efluente de mayor calidad, lo que involucraría que el contacto del personal contra incendio con esta agua sea más seguro, lo que a su vez permitiría que el agua sea utilizada para otras funciones como la limpieza en general de las instalaciones.

Además de aumentar el campo de aplicación para ésta agua, se podría beneficiar la terminal por la eliminación del pago de derechos de descarga lo que también permitiría que se le otorgue un estímulo fiscal por ser un contribuyente que cuenta con planta de tratamiento de aguas residuales, cuya descarga cumpla con los límites máximos permisibles establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997.

3.1.- ACONDICIONAMIENTO DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO

A continuación se presentan algunas alternativas para que el efluente de la planta de tratamiento de agua residual entre dentro de las especificaciones de la norma, modificando el arreglo de los equipos, específicamente el lecho de filtración del sistema de filtración, así como la cantidad de desinfectante a utilizar en el proceso de tratamiento.

3.1.1.- Modificación del lecho de filtración en el sistema de filtrado

La modificación del lecho de filtración tendrá la finalidad de reducir la cantidad de sólidos suspendidos en el afluente actual de la planta de tratamiento. Esto se hará variando la altura de los materiales filtrantes utilizados y en su caso introducir un nuevo material para la filtración.

Como ya se mostró el lecho de filtración consiste principalmente de grava y tezontle con un poco de arena sílica por lo que se procederá a variar la cantidad utilizada de estos materiales en base a valores recomendados por la literatura.

La filtración directa, es apropiada para aguas claras con menos de 20 unidades de turbiedad, admitiéndose valores máximos de 50 UT, solamente por algunos días al año y el contenido de color verdadero debe ser menor de 40 unidades. Deben ser aguas poco contaminadas recomendándose que el NMP de coliformes totales sea inferior a 1,000/100 ml de muestra. ^[3]

El medio filtrante recomendado en estos casos es de granos gruesos para asegurar la obtención de carreras más largas. ^[3]

La granulometría recomendada para lechos simples de arena es la siguiente: ^[3]

Espesor (m).....	0.70-2.00
Tamaño efectivo (mm).....	0.70-2.00
Coeficiente de uniformidad.....	<1.6
Coeficiente de esfericidad.....	0.7-0.8
Tamaño del grano menor (mm).....	0.59
Tamaño del grano mayor (mm).....	2.00

Se suele colocar también una capa de arena más gruesa (gravilla), entre la capa filtrante y la capa soporte, denominada capa torpedo, la cual tiene las siguientes características: ^[3]

Espesor (m).....	0.1-0.2
Tamaño efectivo (mm).....	5-10
Coeficiente de uniformidad.....	1.7
Tamaño del grano menor (mm).....	5.00

Tamaño del grano mayor (mm)....10.00

Mientras que la capa de soporte suele tener las características de la tabla 3.2 mostrada a continuación.^[3]

Tabla 3.2 Granulometría recomendada para la capa de soporte

SUBCAPA	ESPESOR (cm)	TAMAÑO (mm)
1a	10.0	2.4 - 4.8
2a	7.5	4.8 - 9.5
3a	7.5	9.5 - 19.0
4a	12.5	19.0 - 38.0

Teniendo en cuenta los datos anteriores y el funcionamiento actual de la planta, se plantea que el lecho de filtración este formado por 3 capas, de soporte, torpedo y de filtración con dos arreglos en función del material filtrante.

3.1.1.1.- Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Silica

El arreglo base planteado contempla que la capa de soporte estará compuesta por 0.5 m de tezontle de 19 mm y 0.5 m de grava de 13 mm, la capa torpedo estará compuesta por 0.3 m de gravilla de 7 mm, la capa de filtración estará compuesta por 1.2 m de arena silica de 2 mm, tal como se muestra en la figura 3.1.

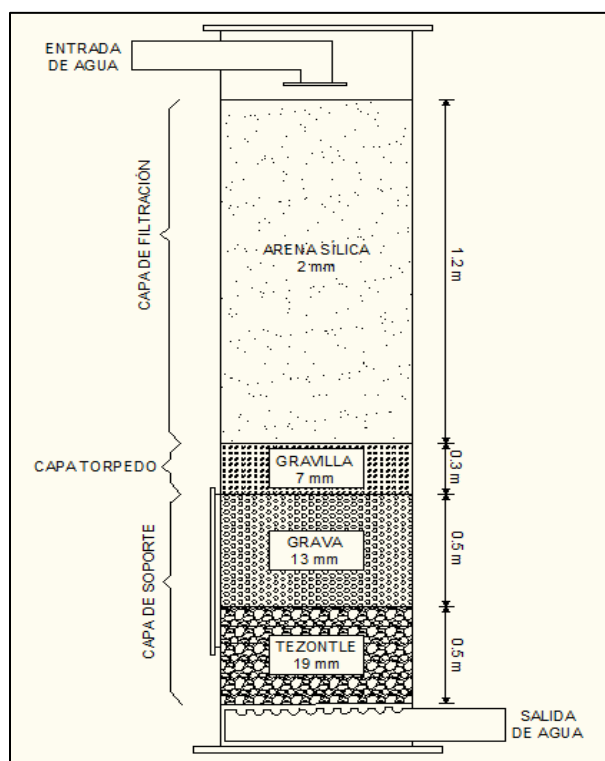


Figura 3.1 Arreglo base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica

En caso de que este arreglo no funcione adecuadamente, es decir, que la cantidad de sólidos suspendidos totales aun este por encima de los parámetros deseados, se debe variar el material utilizado y realizar pruebas de su funcionamiento con la finalidad de encontrar el arreglo que mejores resultados presente en cuanto a la tasa de filtración (que no se reduzca en demasía) y la calidad del efluente. De ser necesario (que la arena sílica no sea capaz de remover los sólidos suspendidos totales suficientes), se debe introducir un nuevo material en la capa de filtración, teniendo en cuenta que en filtros con lecho doble de antracita y arena las características recomendadas se muestran en la tabla 3.3.

Tabla 3.3 Granulometría recomendada para lechos combinados

Características	Arena	Antracita
Espesor de la capa (m)	0.15 - 0.20	0.45 - 0.60
Tamaño efectivo (mm)	0.45 - 0.60	0.80 - 1.10
Coefficiente de uniformidad	≤ 1.5	≤ 1.5
Tamaño del grano más pequeño	0.42	0.70
Tamaño del grano mayor (mm)	1.41	2.00

3.1.1.2.- Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena-Antracita

El arreglo base planteado contempla que la capa de filtración quedará compuesta por 0.5 m de arena de 2 mm y por 0.7 m de antracita de 3 mm (resultado de la multiplicación de 1 diámetro efectivo de la arena por 3 y dividido entre 2, metodología realizada para conocer el tamaño efectivo de antracita requerida), tal como se muestra en la figura 3.2.

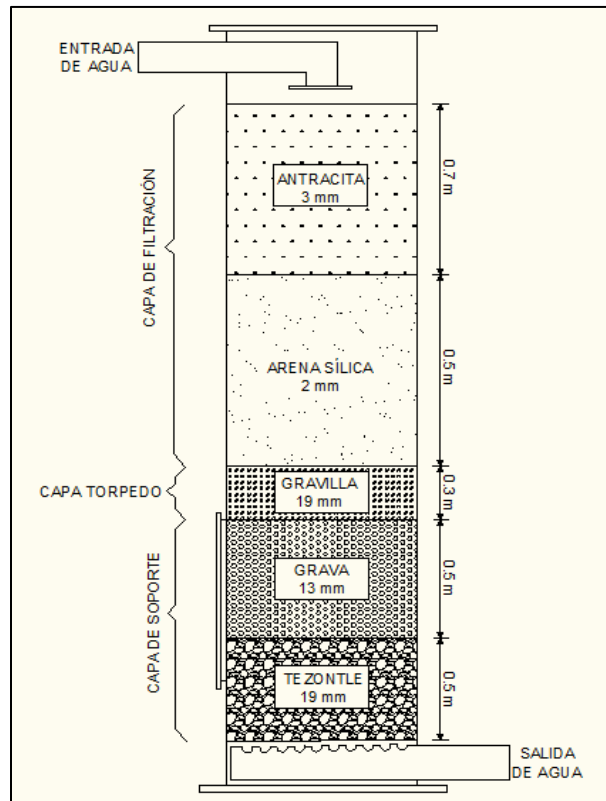


Figura 3.2 Arreglo base Tezontle-Grava-Gravela-Arena Sílica-Antracita

Si en alguno de los arreglos anteriores ocurre un taponamiento prematuro de la unidad, se puede optar por invertir las capas del lecho filtrante, es decir, poner las capas más gruesas en la parte superior y las más finas en la inferior, esto sería posible debido a que en estos filtros no se hace un retro lavado y las capas difícilmente se desacomodarían, con esto aumentaría la eficiencia del filtro al retener las partículas más gruesas en la parte superior y las más finas en la inferior lo que aprovecharía en su totalidad el filtro y no solo las capas principales.

Esta inversión de capas debe hacerse siempre y cuando se tome en cuenta que el diámetro mínimo aproximado que retiene la malla del filtro es de 1.3 mm, por lo que la capa más fina debe ser superior a 1.3 mm, por lo que los arreglos planteados fácilmente cumplen con esta condición y podría procederse a realizar la inversión.

Los filtros son las unidades más complejas de una planta de tratamiento de agua, su correcta concepción depende de la interrelación entre las características de la suspensión afluente y las características del medio filtrante, para que predominen los mecanismos de filtración apropiados que darán como resultado la máxima eficiencia posible mediante la aplicación de este proceso.

Por lo que se recomienda hacer el trabajo experimental mediante un filtro piloto, ya que es la forma más segura de seleccionar las características de la unidad y los parámetros de diseño para una suspensión determinada.

Lo más recomendable es modificar una de las ocho unidades de filtración y evaluar su funcionamiento tomando como base los valores planteados anteriormente, así como las pérdidas de carga y la metodología experimental que se verán más adelante, así una vez encontrado un modelo satisfactorio, proceder a modificar las demás unidades.

3.1.1.3.-Cálculo de la pérdida de carga del lecho de filtración

Mediante la pérdida de carga inicial se puede evaluar el comportamiento de un lecho filtrante, cuando las pérdidas iniciales son muy altas, disminuye el período de funcionamiento del filtro.

En otras palabras, como la pérdida de carga total es función de la pérdida de carga inicial, de la pérdida de carga producida por la capa superficial de impurezas y de la pérdida de carga producida por la disminución de la porosidad del lecho con el tiempo provoca que el tiempo de funcionamiento sea muy corto, siendo necesario lavar el filtro con intervalos breves de tiempo, produciendo serios inconvenientes en el funcionamiento de la estación de filtrado.

Se realizó el cálculo de la pérdida de carga inicial de cada uno de los arreglos planteados, esto en una hoja de cálculo realizada con Visual Basic en Excel, por lo que se puede evaluar la pérdida de carga al variar la altura de los materiales de filtración en dicha hoja de cálculo como se muestra en las figuras 3.3, 3.4, 3.5, 3.6, 3.7.



Arreglo Tezontle-Grava-Arena Sílica (arreglo actual)

INGRESAR DATOS		CALCULAR	
LONGITUD (m)	2.7	ÁREA (m²)	5.75869641
DIÁMETRO (m)	0.61	ÁREA TOTAL DE LOS FILTROS (m²)	11.5173928
NÚMERO DE FILTROS EN OPERACIÓN	2	POROSIDAD DE LA ARENA	0.33333333
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE LA ARENA	1.5	% DE EXPANSIÓN DE LA ARENA	0.13
LONGITUD DEL CANAL DE LAVADO (m)	2.5	ALTURA EXPANDIDA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN (m)	0.113
POROSIDAD DE LA ARENA LIMPIA	0.42		
ALTURA DE LA CAPA DE ARENA (m)	0.1	PÉRDIDA DE CARGA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	5.1428E-06
VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	3		
VISCOSIDAD (cm/s)	0.1		
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (m/s²)	9.81		
		BORRAR DATOS	

Figura 3.3 Pérdida de carga Arreglo Actual

Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica

INGRESAR DATOS	
LONGITUD (m)	2.7
DIÁMETRO (m)	0.61
NÚMERO DE FILTROS EN OPERACIÓN	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE LA ARENA	1.5
LONGITUD DEL CANAL DE LAVADO (m)	2.5
POROSIDAD DE LA ARENA LIMPIA	0.42
ALTURA DE LA CAPA DE ARENA (m)	1.2
VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	3
VISCOSIDAD (cm/s)	0.1
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (m/s ²)	9.81

CALCULAR	
ÁREA (m ²)	5.75869641
ÁREA TOTAL DE LOS FILTROS (m ²)	11.5173928
POROSIDAD DE LA ARENA	0.33333333
% DE EXPANSIÓN DE LA ARENA	0.13
ALTURA EXPANDIDA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN (m)	1.356
PÉRDIDA DE CARGA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	6.1713E-05

BORRAR DATOS	
--------------	--

Figura 3.4 Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica

Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita

INGRESAR DATOS	
LONGITUD (m)	2.7
DIÁMETRO (m)	0.61
NÚMERO DE FILTROS EN OPERACIÓN	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE LA ARENA	1.5
TAMAÑO EFECTIVO DE LA ARENA (mm)	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE LA ANTRACITA	1.7
POROSIDAD DE LA ARENA LIMPIA	0.42
POROSIDAD DE LA ANTRACITA LIMPIA	0.45
ALTURA DE LA CAPA DE ARENA (m)	0.5
ALTURA DE LA CAPA DE ANTRACITA (m)	0.7
VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	3
VISCOSIDAD (cm/s)	0.1
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (m/s ²)	9.81

CALCULAR	
ÁREA (m ²)	5.75869641
ÁREA TOTAL DE LOS FILTROS (m ²)	11.5173928
POROSIDAD DE LA ARENA	0.33333333
TAMAÑO MAYOR DE LA ANTRACITA (mm)	6
TAMAÑO EFECTIVO DE LA ANTRACITA (mm)	3
POROSIDAD EXPANDIDA DE LA ANTRACITA	0.41176471
% DE EXPANSIÓN DE LA ARENA	0.13
% DE EXPANSIÓN DE LA ANTRACITA	0.065
ALTURA EXPANDIDA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN (m)	1.3105
PÉRDIDA DE CARGA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	0.00050606

BORRAR DATOS	
--------------	--

Figura 3.5 Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita

Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica Invertido

INGRESAR DATOS	
LONGITUD DEL FILTRO (m)	2.7
DIÁMETRO DEL FILTRO (m)	0.61
NÚMERO DE FILTROS EN OPERACIÓN	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE LA GRAVA	1.6
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DEL TEZONTLE	1.2
POROSIDAD DE LA GRAVA LIMPIA	0.4
POROSIDAD DEL TEZONTLE LIMPIO	0.5
ALTURA DE LA CAPA DE GRAVA (m)	0.5
ALTURA DE LA CAPA DE TEZONTLE (m)	0.5
VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	3
VISCOSIDAD (cm/s)	0.1
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (m/s ²)	9.81

CALCULAR	
ÁREA (m ²)	5.75869641
ÁREA TOTAL DE LOS FILTROS (m ²)	11.5173928
POROSIDAD DE LA GRAVA	0.375
POROSIDAD EXPANDIDA DEL TEZONTLE	0.16666667
% DE EXPANSIÓN DE LA GRAVA	0.04
% DE EXPANSIÓN DEL TEZONTLE	0.34
ALTURA EXPANDIDA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN (m)	1.19
PÉRDIDA DE CARGA DE LA PRIMERA CAPA DE FILTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	1.5838E-10

BORRAR DATOS	
--------------	--

Figura 3.6 Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica Invertido

Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita Invertido

INGRESAR DATOS	
LONGITUD DEL FILTRO (m)	2.7
DIÁMETRO DEL FILTRO (m)	0.61
NÚMERO DE FILTROS EN OPERACIÓN	2
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DE LA GRAVA	1.6
COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD DEL TEZONTLE	1.2
POROSIDAD DE LA GRAVA LIMPIA	0.4
POROSIDAD DEL TEZONTLE LIMPIO	0.5
ALTURA DE LA CAPA DE GRAVA (m)	0.5
ALTURA DE LA CAPA DE TEZONTLE (m)	0.5
VELOCIDAD DE ENTRADA (m/s)	3
VISCOSIDAD (cm/s)	0.1
ACELERACIÓN DE LA GRAVEDAD (m/s ²)	9.81

CALCULAR	
ÁREA (m ²)	5.75869641
ÁREA TOTAL DE LOS FILTROS (m ²)	11.5173928
POROSIDAD DE LA GRAVA	0.375
POROSIDAD EXPANDIDA DEL TEZONTLE	0.16666667
% DE EXPANSIÓN DE LA GRAVA	0.04
% DE EXPANSIÓN DEL TEZONTLE	0.34
ALTURA EXPANDIDA DE LA CAPA DE FILTRACIÓN (m)	1.19
PÉRDIDA DE CARGA DE LA PRIMERA CAPA DE FILTRACIÓN EN FUNCIÓN DE LA VELOCIDAD DE FILTRACIÓN	1.5838E-10

BORRAR DATOS

Figura 3.7 Pérdida de carga Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita Invertido

Al comparar la pérdida de carga de los arreglos planteados respecto al original se observa un incremento, sin embargo está pérdida sigue siendo demasiado pequeña por lo que no debería de afectarse demasiado el periodo de remplazo del material filtrante.

3.1.1.4.- Metodología experimental con un filtro piloto

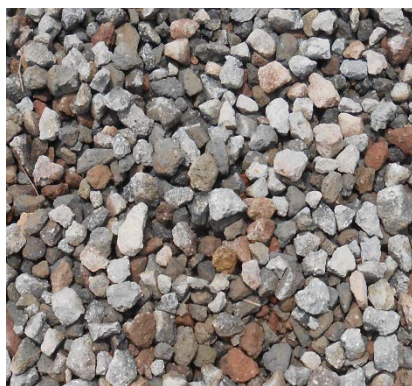
Se construyeron dos modelos a escala de los filtros actuales manteniendo la relación L/D, con el objetivo de realizar las pruebas de sólidos suspendidos totales y DBO₅ a los efluentes obtenidos por los arreglos planteados, para seleccionar el más adecuado partiendo del arreglo base planteado con los materiales mostrados en la figura 3.8.

$$\text{Relación L/D} = \frac{2.7}{0.61} = 4.4262$$

La tubería de PVC a utilizar es de 4" (0.1015 m), por lo que la longitud será:

$$L = 4.4262 \times 0.1015 \text{ m} = 0.4492 \text{ m} \approx 45 \text{ cm}$$

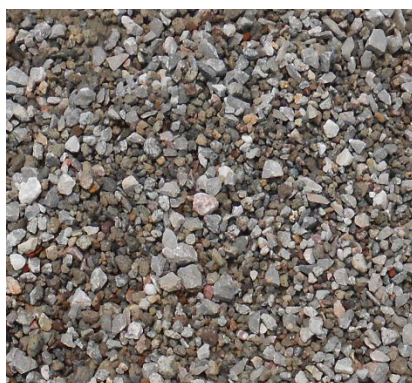
Figura 3.8 Materiales de filtración utilizados



a) Grava de 13 mm aprox.



b) Tezontle de 19 mm aprox.



c) Gravilla de 7 mm aprox.



d) Arena sílica de 2 mm aprox.



e) Antracita de 3 mm aprox.

Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica

a.- Altura de las capas:

La altura base de la capa de tezontle será de 9 cm, la de grava será de 9 cm, la de gravilla será de 5.4 cm y la de arena sílica será de 21.6 cm como se muestra en la figura 3.9.



Figura 3.9 Filtro piloto Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica

b.- Evaluación del filtro:

Una vez que se tenga el filtro relleno, se procederá a filtrar una muestra del agua a tratar y se tomara la muestra del filtrado para su posterior análisis.

c.- Modificación del lecho

Ahora se reducirá la capa de soporte para aumentar la capa de filtración, con lo que se obtendrá 1 muestra por cada modificación como se observa en la tabla 3.4.

Tabla 3.4 Relación de modificación Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica

Tezontle (cm)	Grava (cm)	Gravilla (m)	Arena Sílica (cm)	Modificación
9	9	5.4	21.6	1 (arreglo base)
8	8	5.4	23.6	2
7	7	5.4	25.6	3
6	6	5.4	27.6	4
5	5	5	30	5

Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita

a.- Altura:

La altura base de la capa de tezontle será de 9 cm, la de grava será de 9 cm, la de gravilla será de 5.4 cm, la de arena sílica será de 9 cm y la de antracita será de 12.6 cm como se muestra en la figura 3.10.



Figura 3.10 Filtro piloto Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena Sílica-Antracita

b.- Evaluación del filtro:

Una vez que se tenga el filtro relleno, se procederá a filtrar una muestra del agua a tratar y se tomara la muestra del filtrado para su posterior análisis.

c.- Modificación del lecho

Ahora se reducirá la capa de soporte para aumentar la capa de filtración, con lo que se obtendrá 1 muestra por cada modificación como se observa en la tabla 3.5.

Tabla 3.5 Relación Modificación-Muestra Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica-Antracita

Tezontle (cm)	Grava (cm)	Gravilla (cm)	Arena Sílica (cm)	Antracita (cm)	Modificación
9	9	5.4	9	12.6	1-C
8	8	5.4	10	13.6	2-C
7	7	5.4	11	14.6	3-C
6	6	5.4	12	15.6	4-C
5	5	5	13	17	5-C

Resultados

En base al procedimiento planteado en el anexo 1 se obtuvieron los resultados mostrados en las tablas 3.6 y 3.7.

Tabla 3.6 Resultados sólidos suspendidos totales (SST) Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica

Modificación	SST (mg/L)
1	7.8
2	7.7
3	6.5
4	4.4
5	4.2

Tabla 3.7 Resultados SST Arreglo Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica-Antracita

Muestra	SST (mg/L)
1-C	7.2
2-C	4.2
3-C	3.75
4-C	2
5-C	2

Los resultados obtenidos por el arreglo T-G-G-A se ajustan ampliamente a los límites permisibles por la norma, así que a continuación se realizara una nueva toma de muestra con el arreglo base planteado para comprobar si realmente se reduce la cantidad de sólidos suspendidos totales por debajo del valor establecido.

Tabla 3.8 Resultados SST Arreglo base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica

Muestra	SST (mg/L)
1	12.4
2	12
3	11.2

Si bien la cantidad de sólidos aumento como se observa en la tabla 3.8, estos siguen por debajo del parámetro deseado, por lo que la modificación se hará en base al arreglo base de T-G-G-A planteado anteriormente, por lo que la adición de un nuevo material para la filtración (Antracita) sea innecesaria para los propósitos de reuso.

Ahora con el arreglo seleccionado se realizaron las pruebas de DBO_5 con el procedimiento del anexo 2, dando los resultados mostrados en la tabla 3.9.

Tabla 3.9 Resultados DBO_5 Arreglo Base Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica

Muestra	DBO_5 promedio (mg/L)
5 ml	78.7409
10 ml	59.5565

Dichos resultados muestran que el arreglo base no es suficiente para reducir la DBO_5 , también muestran que al ir aumentando la muestra disminuye la carga contaminante, por lo que se procederá a realizar otra prueba aumentando la capa de filtración, es decir, con la modificación 5 de T-G-G-A además de aumentar la cantidad de muestra a 50 ml.

Tabla 3.10 Resultados DBO_5 Modificación 5 Tezontle-Grava-Gravilla-Arena sílica

Muestra	DBO_5 promedio (mg/L)
50 ml	40.8615

Como se observa en la tabla 3.10, aunque se aprecia una importante reducción, aun no se llega al valor especificado por lo que el sistema de filtración no es suficiente para reducir la DBO_5 ya que la reducción de SST entre un 85 y 90 %, solo significa la reducción de DBO_5 entre un 21 y 40% para el arreglo base, mientras que con el arreglo 5, mostrado en la figura 3.11, se consiguió una reducción del 59% por lo que esta modificación de lecho será la seleccionada, sin embargo se debe complementar la modificación de los filtros a fin de reducir la concentración de materia orgánica disuelta que aun contiene el agua.

Nota. Se decidió descartar la modificación del lecho con la antracita por las complicaciones que suele presentar la operación de dicho material en el tratamiento de aguas residuales.

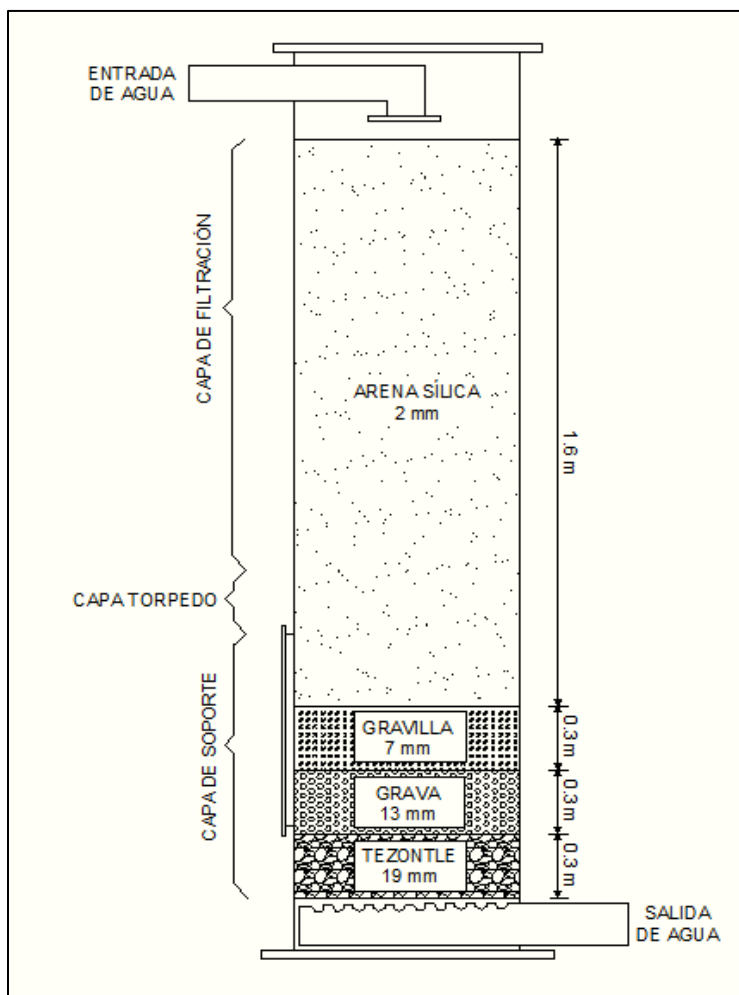
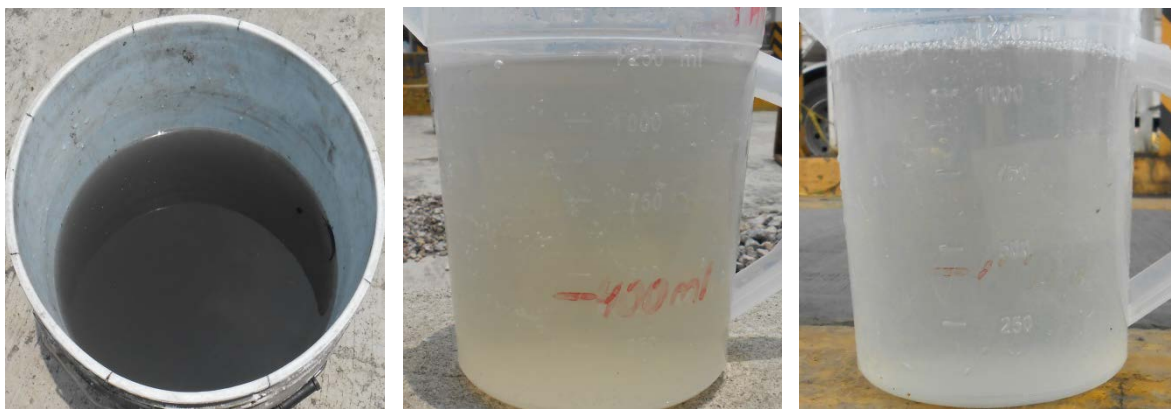


Figura 3.11 Modificación 5 del arreglo T-G-G-A

Figura 3.12 Muestras de agua antes y después del filtrado



- a) Muestra de agua residual a tratar, 10% de la fosa API y 90% del cárcamo de recuperación.
- b) Muestra del filtrado obtenido por el arreglo T-G-G-A.
- c) Muestra obtenida por el arreglo T-G-G-A-A.

3.1.2.- Cálculo de la demanda de cloro en la etapa de cloración

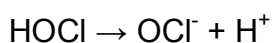
El cálculo de la demanda de cloro determinará si se está suministrando la cantidad de cloro requerida por el caudal de agua a tratar, o si esta cantidad (1/2 Litro de hipoclorito de sodio concentrado al 13% por cada 32 m³) debe modificarse.

3.1.2.1.- Química de la cloración

Tanto el cloro elemental gaseoso como el líquido reaccionan con el agua de la siguiente forma: ^[10]



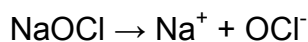
Como puede observarse en la ecuación anterior, la adición de cloro gaseoso al agua bajará su alcalinidad y consecuentemente su pH debido a la producción del ácido fuerte, HCl, y del ácido hipocloroso, HOCl. El ácido hipocloroso se ioniza para formar ion hipoclorito: ^[10]



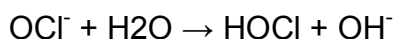
La disociación del ácido hipocloroso depende de la concentración del ion hidrogeno, o sea del pH. A pH bajo la disociación del HOCl se inhibe; el residual es predominantemente HOCl a pH igual a 6 ó menor; a pH igual a 7.7 los residuales de HOCl y OCl⁻ son aproximadamente similares y a pH igual o mayor que 9 casi todo el residual es OCl⁻. ^[10]

Las especies HOCl y OCl⁻ en el agua constituyen lo que se denomina cloro libre disponible o residual de cloro libre. El ácido hipocloroso HOCl es el desinfectante más efectivo; el ion hipoclorito es relativamente inefectivo en comparación con el ácido hipocloroso; por ello, la desinfección más letal con cloro ocurre a pH bajo, o sea en medio ácido. ^[10]

Al dosificar como hipoclorito de sodio se tiene:



y



En estos casos se presentará un incremento de la alcalinidad, dependiendo de la magnitud con que el OCl⁻ reaccione con el agua. ^[10]

Si existe amoníaco, el ácido hipocloroso reaccionará con él para producir monocloramina, dicloramina y tricloramina. Todo el cloro presente en el agua en forma de cloraminas es lo que se conoce como cloro combinado disponible o residual de cloro combinado.^[10]

Los residuales de cloro combinado son más estables que los residuales libres, pero menos efectivos como desinfectantes. Para una mortalidad determinada, con residual constante, las formas de cloro combinado requieren un tiempo de contacto cien veces mayor que el requerido por el residual libre.^[10]

Al aplicar cloro a un agua que contiene agentes reductores, inicialmente se satisface la demanda inmediata de cloro, a continuación las monocloraminas y dicloraminas aumentan, pero luego disminuyen. El segundo incremento se presenta a partir del punto de quiebre y cualquier cloro agregado produce residuales de cloro libre.^[10]

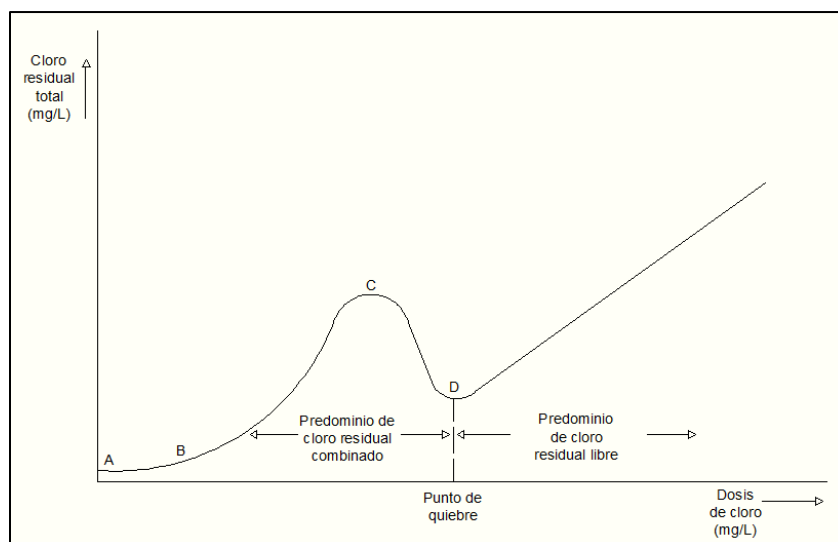


Figura 3.13 Curva de demanda de cloro

El análisis de la curva de demanda de cloro mostrada en la figura 3.13 permite hacer las observaciones siguientes:^[10]

A-B:

El cloro reacciona inicialmente con los agentes reductores presentes y no forma un residual detectable. La dosis de cloro en el punto B representa la cantidad de cloro requerida para satisfacer la demanda ejercida por los agentes reductores del agua.^[10]

B-C:

Una vez satisfecha la demanda ejercida por los agentes reductores o demanda inmediata de cloro, éste reacciona con todo el amoníaco y las aminas orgánicas presentes para formar un residual de cloro combinado. Cuando todo el amoníaco y las aminas orgánicas han reaccionado con el cloro, empieza a formarse un residual de cloro libre. A una cierta concentración crítica, punto C, la concentración de cloro libre es lo suficientemente alta como para oxidar las cloraminas.^[10]

C-D:

Oxidación de las cloraminas:



La destrucción de las cloraminas reduce el cloro residual y es acompañada por la formación de óxido nitroso, nitrógeno y tricloruro de nitrógeno.^[10]

D:

Una vez completa la oxidación de los compuestos susceptibles de ser oxidados por cloro, todo el cloro agregado desarrolla un residual de cloro libre. El punto D, en el cual la oxidación de los productos del amoníaco es completa, se conoce como punto de quiebre.^[10]

La determinación de la demanda de cloro permite cuantificar el número y la capacidad de los cloradores requeridos para la desinfección del agua, así como para decidir el tipo de agente desinfectante, recipientes, cantidades de cloro, etc.^[10]

Demanda de cloro = dosis de cloro – cloro residual

Evidentemente, la demanda de cloro varía para diferentes aguas; aun para la misma agua depende de la dosis de cloro aplicada, de la magnitud y tipo de residual deseado, del tiempo de contacto, del pH y de la temperatura. En general, a mayor tiempo de contacto y mayor temperatura del agua, más efectiva es la desinfección; por el contrario, a pH alto disminuye la concentración de ácido hipocloroso y por consiguiente disminuye la efectividad de la cloración.^[10]

3.1.2.2.- Metodología (método DPD)

Se realizarán 10 pruebas de la demanda de cloro por la metodología que se describe a continuación:

- Determinar la concentración de cloro de la solución de hipoclorito de sodio (hipoclorito concentrado al 13%).
- Preparar muestras de 10 litros cada una tomando valores entre 1 mg/L y 10 mg/L.
- Dejar actuar el cloro por un tiempo de contacto de 30 minutos.
- Al final del periodo de contacto determinar el cloro residual libre.

3.1.2.3.- Resultados

La densidad relativa de una solución de hipoclorito comercialmente en uso (13 %), es de 1.24 y el pH =13.

La cantidad de agua necesaria para realizar una dilución de hipoclorito de sodio está dada por:

$$V_d = \left(\frac{C_o * V_o}{C_f} \right) - V_o$$

Donde:

C_o = concentración inicial de la solución matriz (g/L)

V_o = volumen de la solución matriz (L)

C_f = concentración de la solución diluida (g/L)

Despejando el volumen de la solución matriz se tiene:

$$V_o = \frac{V_d * C_f}{C_o - C_f}$$

Con lo que se calcula la cantidad de cloro necesaria para las diferentes concentraciones a evaluar como se muestra en la tabla 3.11.

Tabla 3.11 Relación Dosis-Concentración de cloro

Cloro adicionado para 10 litros de agua (ml)	Concentración obtenida (mg/l)
0.06	1
0.12	2
0.18	3
0.24	4
0.31	5
0.37	6
0.43	7
0.49	8
0.55	9
0.62	10

Tabla 3.12 Resultados de la demanda de cloro

Dosis de cloro mg/l	Cloro libre (Residual) mg/l	Demanda de cloro mg/l
1	0.05	0.95
2	0.37	1.63
3	1.24	1.76
4	1.12	2.88
5	2.21	2.79

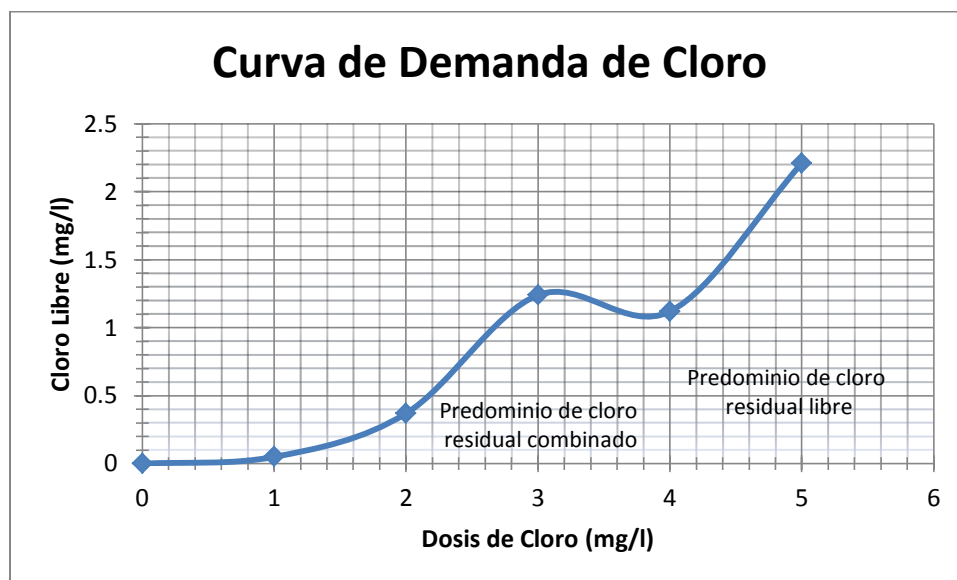


Figura 3.14 Curva de la demanda de cloro obtenida

Con los datos de la tabla 3.12 se genera la gráfica de la figura 3.14, la cual no presenta el comportamiento ideal de campana, por lo que no es posible determinar un punto de quiebre entre el cloro residual combinado y el cloro residual libre, por lo que la demanda de cloro se determinará mediante el promedio de los consumos de cloro con lo que se obtuvo que la demanda de cloro es de 2 mg/L, dicho valor coincide con el valor recomendado por la organización mundial de la salud OMS para la desinfección de agua.

Nota: Se determinaron solo 5 muestras debido a que el aparato con el que se realizaron las pruebas tiene un rango de operación de 0 a 2.5 mg/l y al añadir 6 mg/l ya no logro registrar medición.

3.2.- MODIFICACIÓN DEL EFLUENTE A TRATAR

Una forma de reducir la cantidad de contaminantes del efluente de la planta de tratamiento es reducir la carga de contaminantes que entran a esta, y esto se podría hacer de tres formas:

- Enviando el contenido de las 9 fosas sépticas con las que cuenta la terminal directamente al sistema de alcantarillado, debido a que el uso que se le da al agua, no conlleva una contaminación propia del proceso, con lo que la planta de tratamiento solo se encargaría de tratar el agua proveniente de las descargas atmosféricas, a través del drenaje fluvial y el agua que al ser utilizada se contamina con hidrocarburo, a través del drenaje aceitoso.
- Limpiar las fosas sépticas más frecuentemente, para evitar la acumulación de la materia orgánica.
- Tratando por separado el agua proveniente de la fosa API, es decir, dejar de mezclar el agua del cárcamo de recuperación con el agua de esta fosa.

3.2.1.- Arreglo del sistema de drenaje

Este arreglo en general consiste en direccionar las descargas del drenaje sanitario directamente al sistema de alcantarillado municipal. Con esto el cárcamo de recuperación se encargará de recuperar únicamente agua de lluvia y agua proveniente de la limpieza de las instalaciones, con lo que la planta de tratamiento tendría una disminución considerable de la materia orgánica en su efluente.

Una preocupación que surge a la hora de hablar de mandar la descarga sanitaria directamente al drenaje municipal, es asegurarse que en caso de algún posible derrame de producto no salga de la terminal, sin embargo se cuenta con drenajes

aceitosos y fluviales dentro de los diques de contención, alrededor de los tanques que permitirían la recuperación del producto y garantizando que este no llegara al sistema de drenaje sanitario, por lo que es factible hacer esta modificación.

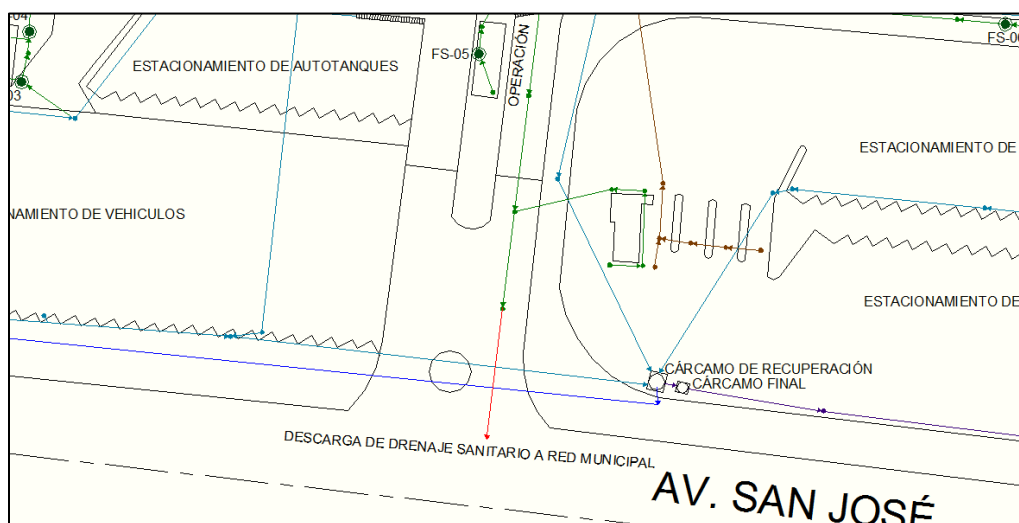


Figura 3.15 Posible modificación al drenaje sanitario

Como se muestra en la figura 3.15, se tiene una posible modificación representada por la línea roja, para dirigir la descarga del drenaje sanitario directamente al sistema de alcantarillado que pasa por la avenida.

La modificación de la descarga hacia la avenida involucra la obra de conexión de la tubería de drenaje sanitario hacia el sistema de alcantarillado que corre por la avenida, así como la necesidad de una nueva descarga, por lo que además de la modificación en la procedencia de las descargas, se debe modificar la localización de la descarga.

Además como se requiere de una nueva conexión al sistema de alcantarillado municipal, se deben presentar los siguientes requisitos ante el municipio:

- 1) Identificación oficial del propietario o representante legal
- 2) Solicitud por escrito
- 3) Contrato de compra/venta notariado y/o escrituras
- 4) Boleta predial vigente
- 5) Licencia de uso de suelo
- 6) Planos arquitectónicos e hidráulicos
- 7) Estudio de gasto diario en m^3
- 8) Memoria descriptiva

3.2.2.- Limpieza más frecuente de las fosas sépticas

A pesar de que estas fosas deberían de limpiarse cada 6 meses, en realidad la limpieza se realiza cada año e inclusive unos meses más, debido a cuestiones internas de coordinación y comunicación entre las áreas de la terminal, es decir que la limpieza no se considera una de las prioridades de este centro de trabajo por lo que termina quedando aplazada provocando que la carga contaminante se valla concentrando.

Por lo que se debe programar la limpieza de manera semestral tal y como se tenía contemplado originalmente, y de ser necesario aumentar la frecuencia de la limpieza ya sea cuatrimestral o trimestral en función de la concentración de materia orgánica, con lo que se evitaría que la materia orgánica se incorpore al caudal de entrada del cárcamo de recuperación.

3.2.3.- Separación entre fosa API y cárcamo de recuperación

La separación consistiría principalmente en separar el agua generada por la fosa API de la generada en el cárcamo de recuperación.

Esto considerando que el agua procedente de la fosa API tiene una mayor concentración de contaminantes, principalmente hidrocarburo, el cual adicionaría una carga contaminante adicional al agua procedente del drenaje sanitario y fluvial si es el caso, y por tanto a la mezcla de aguas residuales que se trata en la PTAR (10% de fosa API, 90% cárcamo de recuperación).

Por lo que se evaluara la carga contaminante que representa la fosa API por sí sola, y al mezclarse con el agua del cárcamo, esto en materia de DBO_5 calculada según el anexo A-2, dando los resultados mostrados en la tabla 3.13.

Tabla 3.13 Comparación de resultados de DBO_5 entre drenaje sanitario y aceitoso

Muestra	DBO_5 promedio (mg/L)
Drenaje sanitario	40.0863
Drenaje aceitoso	42.2116
Drenaje sanitario (90%), Drenaje aceitoso (10%)	40.8615

Dichos valores indican que el mezclar el agua de la fosa API con el agua del cárcamo, si bien se aumenta la demanda de oxígeno y por tanto la carga contaminante, esto no se hace en gran medida ya que al mezclarlos solo se aumenta un 1.89% la demanda de oxígeno en comparación con la muestra que

solo t rato ag ua de l c árcamo. Lo q ue de muestra q ue es ta modificación no es necesaria.

3.2.4.- Actualización y Modificación del Título de concesión para la descarga de aguas residuales

Modificar el afluente a tratar, conlleva que la descarga de agua residual hacia el sistema de alcantarillado municipal también debe modificarse y para que este se pueda modificar antes debe de actualizarse.

3.2.4.1.- Actualización del Título de concesión para la descarga de aguas residuales

Se cuenta con el título de c oncesión para la d escarga de a guas r esiduales para cada una de las 9 fosas sépticas que integran la red de drenaje sanitario, las cuales tienen un volumen de descarga de 1.81 m³/día.

Esta c oncesión s e ot orgó el 10 d e septiembre d el 2 004, es ta es v álida por un plazo de 10 años por lo que se gestionó la actualización del registro, para lo cual se entregaron los siguientes requisitos.

1. Reporte original del resultado del análisis físico-químico de las aguas residuales en bas e a la NOM-002-SEMARNAT-1996, donde se i dentifique la descarga, con nombre y firma del responsable, croquis de localización de la descarga, incluyendo método de aforo y de conformación de la muestra compuesta, así como la hoja de campo original (realizada durante el muestreo, con nombre y firma del técnico y responsable del laboratorio) incluyendo parámetros adicionales:
 - i. DQO (Demanda Química de Oxígeno)
 - ii. SAAM (ustancias Activas al Azul de Metileno)

Solo s e recibirán l os r esultados d e l os aná lisis r ealizados por l aboratorios acreditados ante la EMA y la REDLA.

2. Un oficio en hoja membretada de la empresa y firmado por el representante legal o e l responsable de la descarga dirigido al director general del Medio Ambiente solicitando la actualización del registro.
3. Copia de su licencia de funcionamiento
4. Copia del registro anterior. ^[29]

Sin embargo, como lo establece la CONAGUA y la norma NOM-002-SEMARNAT-1996, las empresas que en su proceso o actividad productiva no utilicen como materia prima sustancias que generen ensus descargas aguas residuales, metales pesados, cianuros, organotóxicos y su volumen de descarga no excede de 30 0 m³/día, quedan ex ceptuados de cumplir con el requisito de la caracterización físico-química y bacteriológica y de la memoria técnica.

Por lo que se podría dirigir el drenaje sanitario directamente al sistema de alcantarillado municipal, sin la necesidad de presentar dicho análisis ya que el uso que se le da al agua no es de materia prima y no se le agregan otro tipo de sustancias dañinas como se mostró anteriormente, además de que la descarga está muy por debajo de los 300 m³/día.

3.2.4.2.- Modificación del título de concesión para la descarga de aguas residuales

En el capítulo anterior se muestra que el uso que se le da al agua, así como el volumen de descarga, no amerita que se presente el análisis físico-químico y bacteriológico ni la memoria técnica.

Por lo que debe gestionarse la modificación del título de concesión, ya que el título de concesión o permiso no tiene una adecuado registro de los datos ante el Registro Público de Derechos de Agua.

Modificación administrativa

Los requisitos para la modificación administrativa del título de concesión son los siguientes:

1. Para acreditar la personalidad jurídica, el interesado o representante legal puede presentar: Credencial para votar IFE o Cédula profesional o Pasaporte vigente o Cartilla del servicio militar nacional.
2. Presentar debidamente llenados los formatos denominados "Anexo Datos Generales del Solicitante" y "Formato CONA-01-010 Modificación administrativa de concesión de aprovechamiento de aguas nacionales y/o permisos de descarga de aguas residuales" (mostrados en el anexo A-4), en original y sus anexos en copia simple. También se puede presentar un escrito libre que contenga la información señalada en el los, o bien por medios electrónicos cuando apliquen.
3. En los casos que el titular de la concesión, ha ya extraviado el título, y solicita la modificación del mismo, deberá manifestarlo en la solicitud y anexar escrito bajo protesta de decir verdad.

4. No pagan derechos los usuarios que se dediquen a actividades agrícolas o pecuarias, el uso o do méstico que se relacione con estos usos y las localidades rurales iguales o inferiores a 2,500 habitantes (Artículo 192-D LFD).
5. Es necesario verificar que las copias de cada uno de los documentos sean legibles.
6. El solicitante podrá aceptar que la CONAGUA utilice medios electrónicos en la atención de trámites.
7. Si el interesado requiere que se le acuse recibo, deberá adjuntar una copia para ese efecto.^[29]

Modificación técnica

Los requisitos para la modificación técnica del título de concesión son los siguientes:

- 1) Para acreditar la personalidad jurídica, el interesado o representante legal puede presentar: Credencial para votar IFE o Cédula profesional o Pasaporte vigente o Cartilla del servicio militar nacional.
- 2) Presentar debidamente llenados los formatos de nominados "Anexo Datos Generales del Solicitante" y "Formato CNA-01-012 Modificaciones técnicas de títulos de concesión y/o permisos de descarga de aguas residuales" (mostrados en el anexo A-5), en original y sus anexos en copia simple. También se puede presentar un escrito libre que contenga la información señalada en ellos, o bien por medios electrónicos cuando apliquen.
- 3) Cuando los errores en los permisos de descarga o títulos de concesión de aguas nacionales sean por causas imputables a la Autoridad del Agua, deberán ser modificados de oficio notificando al usuario de la modificación o corrección realizada, o a petición de los titulares en forma gratuita; así mismo cuando los errores sean por causas imputables a los titulares y por requerimiento de estos últimos, podrán ser modificados sólo a petición de parte

interesada y el usuario deberá demostrar y comprobar la procedencia del error, omisión o modificación solicitada, con la presentación del o los documentos que avalen su dicho.

- 4) No pagan derechos los usuarios que se dediquen a actividades agrícolas o pecuarias, e incluso doméstico que se relacionen con estos usos y las localidades rurales iguales o inferiores a 2, 500 habitantes (Artículo 192-D LFD).
- 5) Es necesario verificar que las copias de cada uno de los documentos sean legibles.
- 6) El solicitante podrá aceptar que la CONAGUA utilice medios electrónicos en la atención de trámites.
- 7) Si el interesado requiere que se le acuse recibo, deberá adjuntar una copia para ese efecto.^[29]

Esta es la modificación que nos interesa, ya que se debe modificar el uso del agua y por tanto la procedencia de las descargas, para demostrar que por las características del proceso y del uso que se le da al agua, no se generan o concentran contaminantes en ella como se muestra en este trabajo, sin embargo por las diversas políticas de descarga tanto generales como particulares, tendría que entrar el área jurídica de la terminal para analizar la aplicación de la norma y en su caso de aplicar para exentar la presentación del análisis.

Además se deben de modificar los puntos de descarga, ya que para el drenaje sanitario solo debería de haber 1 de descarga que vendría siendo la descarga del cárcamo final y no las descargas de las 9 fosas sépticas como se tiene actualmente. Y una vez modificada la descarga de la red de drenaje sanitario directamente al sistema de alcantarillado municipal modificar para que finalmente queden solo 3 puntos de descarga:

1. La descarga a riego
2. La descarga del cárcamo de recuperación
3. La descarga del drenaje sanitario

Además de estos formatos, se debe presentar por escrito una solicitud de aprobación técnica de la modificación, así como una solicitud de aprobación fiscal.

CAPÍTULO 4.- ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO

El análisis costo-beneficio es una herramienta financiera que mide la relación entre los costos y beneficios asociados a un proyecto de inversión con el fin de evaluar su rentabilidad, entendiéndose por proyecto de inversión no solo como la creación de un nuevo negocio, sino también, como inversiones que se pueden hacer en un negocio en marcha tales como el desarrollo de nuevo producto o la adquisición de nueva maquinaria. ^[5]

Mientras que la relación costo-beneficio (B/C), también conocida como índice neto de rentabilidad, es un cociente que se obtiene al dividir el Valor Actual de los Ingresos totales netos o beneficios netos (VAI) entre el Valor Actual de los Costos de inversión o costos totales (VAC) de un proyecto. ^[5]

$$B/C = VAI / VAC$$

Según el análisis costo-beneficio, un proyecto o negocio será rentable cuando la relación costo-beneficio es mayor que la unidad. ^[5]

$B/C > 1.0$ Financieramente es factible.

$B/C = 1.0$ Financieramente es indiferente.

$B/C < 1.0$ Financieramente no es factible.

Los pasos necesarios para hallar y analizar la relación costo-beneficio son los siguientes: ^[5]

1. **Hallar costos y beneficios**

En primer lugar hallamos la proyección de los costos de inversión o costos totales y los ingresos totales netos o beneficios netos del proyecto o negocio para un periodo de tiempo determinado. ^[5]

2. **Hallar relación costo-beneficio**

Dividimos el valor actual de los beneficios entre el valor actual de los costos del proyecto. ^[5]

3. **Analizar relación costo-beneficio**

Si el valor resultante es mayor que 1 el proyecto es rentable, pero si es igual o menor que 1 el proyecto no es viable pues significa que los beneficios serán iguales o menores que los costos de inversión o costos totales. ^[5]

4. Comparar con otros proyectos

Si tendríamos que elegir entre varios proyectos de inversión, teniendo en cuenta el análisis costo-beneficio, elegiríamos aquél que tenga la mayor relación costo-beneficio.^[5]

4.1.- ANÁLISIS COSTO-BENEFICIO DE LA MODIFICACIÓN

Los costos de operación se evaluarán en un periodo de un año, en función del consumo eléctrico de los equipos involucrados en el tratamiento de agua, los materiales y reactivos necesarios para la elaboración del total de lotes que se hacen en dicho año.

Los beneficios se evaluarán en función del ahorro que representa obtener lotes al tratar el agua en comparación con el costo que tendría utilizar agua de la red municipal para las modificaciones complementarias, que permitirían obtener valores inferiores a los establecidos en la NOM-003-SEMARNAT-1997, mostradas a continuación.

- a) Modificación de filtros (Modificación 5) y aumento en la frecuencia de limpieza de fosas.

Considerando que se hacen 2 lotes/día durante la época de lluvias y que durante la época de estiaje se realizará lote cada 4 días, considerando una época de lluvias de Mayo a Noviembre con lluvias al menos 5 días por semana, se tiene que se realizarían aproximadamente 346 lotes al año.

- b) Modificación de filtros (ya sea arreglo base o arreglo 5) y modificación al drenaje sanitario.

Considerando que se hacen 2 lotes/día durante la época de lluvias y que durante la época de estiaje prácticamente no se realizaría lote de agua tratada, debido a la modificación al drenaje sanitario, y considerando una época de lluvias de Mayo a Noviembre con lluvias al menos 5 días por semana, se tiene que se realizarían aproximadamente 308 lotes al año.

4.1.1.- Costos de operación

Bombas

a)

La planta de tratamiento cuenta con cuatro bombas que entran en operación para la realización de los lotes de agua residual, para conocer el costo que conlleva la utilización de estas bombas evaluaremos el periodo de uso y la alimentación eléctrica.

Conociendo que la potencia es igual al voltaje multiplicado por la intensidad de corriente, así como las horas de operación, podemos cuantificar la energía eléctrica consumida por las bombas involucrada en el proceso de tratamiento tal como se muestra en las tablas 4.1 y 4.2.

Tabla 4.1 Cálculo de las potencias de las bombas

Bomba	Voltaje (volts)	Intensidad de corriente (Amps)	Potencia (watts)
TA-BA-23	440	30	13200
TA-BA-24	440	30	13200
TA-BA-26	440	30	13200
TA-BA-32	440	30	13200

Tabla 4.2 Cálculo de la energía consumida por las bombas

Bomba	Horas en operación (h)	Potencia (kw)	Energía consumida (kwh)
TA-BA-23	1.5	13.2	19.8
TA-BA-24	1.5	13.2	6.6
TA-BA-26	0.5	13.2	19.8
TA-BA-32	1.5	13.2	19.8

En total la energía consumida por las bombas es de 66 kwh/lote, considerando que la tarifa industrial de luz en el mes de enero del presente año es de \$1.491/kwh, tenemos que el costo de energía eléctrica por lote de agua producido será de \$98.406 pesos por lo que el costo anual será de **\$34,049 pesos**.

b)

En el inciso anterior, se obtuvo que el costo de energía eléctrica por lote de agua producido es de \$98.406 pesos por lo que el costo anual será de **\$30,309 pesos**.

Hipoclorito de Sodio

a)

Considerando que en la etapa de cloración se adicionan 400 ml por cada 32 m³ de hipoclorito de sodio concentrado al 13%, cuyo costo comercial es de \$3.8/litro. El costo de adición de hipoclorito por lote será de \$3.04 pesos y el costo por año será de **\$1,0512 pesos**.

b)

Como el costo por lote es de \$3.04 pesos, el costo por año será de **\$936 pesos**.

Filtros

a)

El volumen de operación de los 8 filtros es de aproximadamente 23 m³ por lo que se necesitara:

- Arena sílica

El costo comercial de la arena sílica es de \$450/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$6,912 pesos.

- Grava

El costo comercial de la grava es de \$390.50/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de

\$1,125 pesos.

- Tezontle

El costo comercial de la arena sílica es de \$431.50/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$1,242 pesos.

- Gravilla

El costo comercial de la arena sílica es de \$400/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$1,152 pesos.

Por lo que el costo total de relleno de los filtros al año será de **\$10,432 pesos**.

b)

1.- Arreglo base T-G-G-A

- Arena sílica

El costo comercial de la arena sílica es de \$450/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$5,184 pesos.

- Grava

El costo comercial de la grava es de \$390.50/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$1,874 pesos.

- Tezontle

El costo comercial de la arena sílica es de \$431.50/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$2,071 pesos.

- Gravilla

El costo comercial de la arena sílica es de \$400/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$1,152 pesos.

Por lo que el costo total de relleno de los filtros al año será de **\$10,282 pesos.**

2.- Arreglo 5 T-G-G-A

- Arena sílica

El costo comercial de la arena sílica es de \$450/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$6,912 pesos.

- Grava

El costo comercial de la grava es de \$390.50/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de

\$1,124 pesos.

- Tezontle

El costo comercial de la arena sílica es de \$ 431.50/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$1,243 pesos.

- Gravilla

El costo comercial de la arena sílica es de \$400/m³, por lo que el costo de relleno del filtro será de \$1,152 pesos.

Por lo que el costo total de relleno de los filtros al año será de **\$10,431 pesos**.

Total

a)

Lo que da un total de **\$45,532/año** en costos de operación para la obtención de aproximadamente 22,144 m³/año.

b)

Lo que da un total de **\$41,527/año** para el arreglo base de los filtros, y de **\$41,677/año** en costos de operación para la obtención de aproximadamente 20,000 m³/año.

4.1.2.- Costo si se utilizará agua potable en vez de agua residual

El costo de la agua en el municipio de Tlalnepantla de Baz, para un consumo industrial por arriba de 1800m³ por bimestre, es de \$ 13,6190 pesos (1915.4792 salarios mínimos).

a)

Considerando que se hacen aproximadamente 58 lotes /bimestre (para completar los 22,144 m³/año), es decir 3,690 m³/bimestre, da un total de \$13,6190/bimestre. Lo que representaría un costo anual de **\$817,140/año**.

b)

Considerando que se hacen aproximadamente 52 lotes /bimestre (para completar los 20,000 m³/año), es decir 3,328 m³/bimestre, da un total de \$122,830/bimestre. Lo que representaría un costo anual de **\$736,976/año**.

4.1.3.- Costo por la descarga de aguas residuales

Por la descarga de aguas residuales al sistema de alcantarillado municipal, la terminal se ubica en la tarifa de \$1.8/m³ para la descarga de las fosas sépticas y de \$2.66/m³ para la descarga a riego, correspondiente al ramo de servicios, con lo que se pagan \$5,289/trimestre. Lo que representa un costo anual de **\$21,156/año**.

Además se debe presentar trimestralmente un análisis físicoquímico y microbiológico de agua residual en base a la NOM-001-SEMARNAT-1996 para la descarga a riego y otro en base a la NOM-002-SEMARNAT-1996 para las fosas sépticas, el primero tiene un costo de \$4,700/trimestre lo que representa un costo anual de **\$18,800/año**, mientras que el segundo análisis tiene un costo de \$3,300/trimestre para cada fosa séptica lo que representa un costo anual de **\$118,800/año**.

Mientras que por concepto del trámite de modificación técnica al permiso de descarga, se requieren \$1,769 pesos en una sola exhibición, con lo cual ya no sería necesaria la presentación del análisis de agua para la descarga del drenaje sanitario y fluvial o en caso de que esta petición sea negada, el ahorro al solo pagar la descarga y el análisis de la conexión al sistema de alcantarillado y no por cada una de las fosas, lo que representaría un ahorro de pagar 9 análisis en base a la NOM-002-SEMARNAT-1996 a pagar solo 2 (el del cárcamo de recuperación y la descarga del drenaje sanitario) y claro también el análisis del efluente de la planta de tratamiento. Lo que representaría un ahorro de \$118,800/año en caso de que se exente presentar el análisis para las descargas del drenaje sanitario y del cárcamo de recuperación o de al menos \$92,400/año para la modificación a los puntos de descarga, con lo que solo se pagarían los dos análisis para la NOM-002-SEMARNAT-1996 y uno para la NOM-001-SEMARNAT-1996.

Es decir:

a)

Ahorro de \$118,800/año en caso de que se exente presentar el análisis para las descargas del drenaje sanitario o de al menos de \$95,700/año para la modificación a los puntos de descarga, con lo que solo se pagarían los 2 análisis, 1 para la NOM-002-SEMARNAT-1996 y 1 para la NOM-001-SEMARNAT-1996.

b)

Ahorro de \$118,800/año en caso de que se exente presentar el análisis para las descargas del drenaje sanitario y del cárcamo de recuperación o de al menos \$92,400/año para la modificación a los puntos de descarga, con lo que solo se pagarían los 2 análisis para la NOM-002-SEMARNAT-1996 y 1 para la NOM-001-SEMARNAT-1996.

4.1.4.- Relación costo - beneficio

a)

El ahorro que representa utilizar agua residual en vez de agua potable para la red contra incendio, así como para el riego de áreas verdes, tiene un valor de \$771,608/año con lo que la relación quedara de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{771,608}{45,532} = 16.9466$$

La relación obtenida, es mucho mayor a 1 por lo que el uso del agua residual representa un mayor beneficio económico que el utilizar el agua de la red municipal.

Además se tiene un ahorro de \$118,800/año en caso de que se exente presentar el análisis para las descargas del drenaje sanitario o de al menos de \$95,700/año con lo que se puede cubrir sin problemas el costo del trámite, así como el costo de hacer la limpieza más frecuente.

b)

El ahorro que representa utilizar agua residual en vez de agua potable para la red contra incendio, así como para el riego de áreas verdes, tiene un valor de \$775,613/año para el arreglo base T-G-G-A con lo que la relación quedará de la siguiente manera:

$$\frac{B}{C} = \frac{775,613}{41,527} = 18.6773$$

Mientras que para el arreglo 5 T-G-G-A será de:

$$\frac{B}{C} = \frac{775,463}{41,527} = 18.6737$$

La relación obtenida con ambos arreglos de lecho de filtración, es mucho mayor a 1 por lo que el uso del agua residual representa un mayor beneficio económico que el utilizar el agua de la red municipal.

Además con la modificación al título de concesión, se tendría un ahorro de \$118,800/año en caso de que se exente presentar el análisis para las descargas del drenaje sanitario y del cárcamo de recuperación o de al menos \$92,400/año con lo que sin problema puede cubrirse el costo del trámite, así como la obra de modificación del drenaje sanitario con el fin de mejorar el efluente de la planta de tratamiento.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para conseguir llegar a los valores establecidos por la norma 003-SEMARNAT-1997 se hacen las siguientes recomendaciones que contemplan de manera general lo planteado anteriormente.

1. Hacer la modificación 5 del arreglo T-G-G-A del sistema de filtración, la cual elimina la mayor parte de sólidos suspendidos totales con lo que se logra un valor inferior al establecido por la norma, sin embargo para la reducción de DBO_5 no es suficiente por lo que esta modificación debe complementarse con la limpieza más frecuente de las fosas sépticas, y a sea por 6 meses o aumentando la frecuencia por cuatrimestre o trimestre. Con lo que no se tendrían que hacer modificaciones mayores al sistema actual. Además se debe hacer la modificación al título de concesión para que solo se contemplen las 2 descargas de la terminal en vez de las 10 que se contemplan actualmente.
2. Si con el aumento de la frecuencia de limpieza de las fosas no se logra llegar al valor establecido por la norma se debe hacer la modificación al drenaje sanitario, para que este llegue directamente al sistema de alcantarillado municipal, con lo que solo se trataría agua proveniente del lavado de las instalaciones y agua fluvial, lo que garantiza que la cantidad de materia orgánica a tratar será mínima con lo que la DBO_5 tendrá una reducción significativa. Si bien con esta modificación reduce en parte los sólidos suspendidos totales, el afluente de mayor carga en SST se tiene debido a la operación de la fosa API, por lo que la modificación del lecho de filtración de cada uno de los filtros será necesaria para complementar la reducción, la cual dependiendo de los resultados de los análisis que se realicen con el arreglo 5, podría optarse por cambiar al arreglo base. Esto representa la necesidad de una nueva descarga por lo que el título de concesión debe ser modificado nuevamente para contemplar esta nueva descarga, además de que debe gestionarse la solicitud para una nueva descarga ante el municipio.
3. Todo esto tomando en cuenta que la cantidad de cloro también será modificada de 2.5 mg/L a solo 2 mg/L.

CONCLUSIONES

El contar con agua tratada para reuso es primordial para el funcionamiento del sistema contra incendio de la terminal, ya que el utilizar agua de la red municipal elevaría considerablemente los costos de operación de 16 a 18 veces el costo actual, por lo que contar con agua de mayor calidad debería ser prioridad, para que pueda ser utilizada en otras aplicaciones donde actualmente se utiliza agua potable.

En conclusión para que el efluente de la planta de tratamiento de agua residual de esta terminal de almacenamiento y reparto de PEMEX Refinación cumpla con los parámetros establecidos por la NOM-003-SEMARNAT-1997 es necesario modificar el lecho de los filtros así como realizar las limpiezas programadas semestralmente y de ser necesario modificar la descarga del drenaje sanitario para que este descargue directamente a la red de alcantarillado municipal, con lo que se tendrá agua de mayor calidad que podrá ser utilizada con mayor seguridad para el personal contra incendio, así como para una mayor reutilización para otras funciones que beneficien a la terminal.

Si bien hablar de una modificación para mejorar el efluente de la planta de tratamiento supondría un aumento en los costos de operación, para este caso representó un ahorro, al realizar modificaciones menores, así como la realización de la modificación del título de concesión de descarga ya que se tenían contempladas más descargas de las necesarias, también existe la posibilidad de que se exente la presentación del análisis de agua, y se otorgue un estímulo fiscal.

Con lo que dicha terminal tendría un beneficio integral entre el ahorro, tanto de la utilización de agua tratada en vez de agua de la red municipal como del ahorro respecto a los pagos que se hacen actualmente, y la mejora en la calidad del agua tratada cumpliendo con los parámetros planteados por la NOM-003-SEMARNAT-1997, con lo cual como se ha dicho antes brinda la posibilidad de ampliar su uso dentro de la terminal.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado D . L. A . “ Diagnóstico y pr opuesta de t ratamiento de ag ua contaminada par a el pr oceso de recuperación de a gua en l os c ampos Tamaulipas – Constituciones de PEMEX E xploración y P roducción”. Maestría en Tecnología avanzada. IPN, CICATA unidad Altamira. México, Tamaulipas. 2008.
2. Comisión F ederal d e E lectricidad. “ Tarifas ac tuales de l os e nergéticos”. Energía hoy. Abril del 2015. pp 55.
3. “Criterios d e di seños par a f iltros”. Rodríguez Víctor. C EPIS. Perú, Li ma. 1992. pp 4-114.
4. De la Peña M. E., Zamora V. “Tratamiento de aguas residuales en México”. Banco interamericano de desarrollo. México, D.F. 2013.
5. “El análisis costo beneficio”. Consultado el 19 de julio del 2015. Disponible en: <http://www.crecenegocios.com/el-analisis-cost-beneficio/>
6. “Filtración e n m últiples et apas”. C INARA. C entro I nternacional en a gua y saneamiento. España, Madrid. 2007. pp 39-46.
7. “Gaceta de Gobierno”. Periódico oficial del gobierno del estado libre y soberano de México, jueves 18 de diciembre del 2014. México.
8. “Guía para el control de descargas a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal”. Comisión Nacional de l Agua, Secretaria del medio ambiente y recursos naturales. México, D.F. 2007. pp 32-117
9. “Guía para el d iseño de s istemas de t ratamiento de filtración en múltiples etapas”. Organización pan americana de l a salud. Perú, Li ma. 2005. pp 5 - 21.
10. Ibarguen C .M., Bernal M. L. M. “Establecer la demanda de cloro en el acueducto T ribunas C órcega de la ciudad de Pereira”. Lic. e n Tecnología Química. U niversidad de P ereira. F acultad d e t ecnología. C olombia, Pereira. 2008.
11. Lahera R . V . “ Infraestructura r esponsable: las plantas d e t ratamiento de aguas residuales”. Quivera. Vol. 12, número 2. 2010. pp 58-69.
12. “Ley de agua para el estado de México y municipios”. Legislatura del estado de México. Decreto nú mero 52, G aceta de gob ierno 19 de di ciembre del 2013. Pp 2-40.
13. “Ley de aguas nacionales y su reglamento”. Comisión nacional del agua. SEMARNAT. México, D.F. 1992. pp 47-103.
14. “Manual de s istemas de t ratamiento de ag uas r esiduales ut ilizados e n Japón”. Comisión Nacional de l Agua. SEMARNAT. México, D.F. 2013. pp 14-64.

15. María M. A., Tigreros G. J. L. "Evaluación preliminar de la remoción de sólidos suspendidos en el sistema de tratamiento de aguas residuales del municipio de Arauca". Lic. en Ingeniería ambiental. Universidad Nacional de Colombia. Colombia, Arauca. 2005.
16. Martelo J., Lara B. J. A. "Macrófitas flotantes en el tratamiento de aguas residuales, una revisión del estado del arte". Ingeniería y ciencia, vol. 8, número 15. 2012. pp 221-243.
17. Mayo P. E. F., "Proyecto ejecutivo de planta de tratamiento de aguas residuales para la localidad de Xochiapa Veracruz". Lic. en Ingeniería civil. Universidad Veracruzana - Xalapa. Facultad de ingeniería civil. México, Veracruz. 2010.
18. Muñoz C. A. "Caracterización y Tratamiento de aguas residuales". Lic. en Ingeniería industrial. Universidad autónoma del estado de Hidalgo. Instituto de ciencias básicas e ingeniería. México, Hidalgo. 2008.
19. "NOM-001-SEMARNAT-1996". Dirección general de normas. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Diario oficial de la federación 23 de abril de 2003.
20. "NOM-002-SEMARNAT-1996". Dirección general de normas. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Diario oficial de la federación 23 de abril de 2003.
21. "NOM-003-SEMARNAT-1997". Dirección general de normas. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Diario oficial de la federación 23 de abril de 2003.
22. "NOM-004-SEMARNAT-2002". Dirección general de normas. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales. Diario oficial de la federación 23 de abril de 2003.
23. "NMX-AA-028-SCFI-2001". Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación 17 de abril de 2001.
24. "NMX-AA-034-SCFI-2001". Dirección general de normas. Secretaría de comercio y fomento industrial. Diario oficial de la federación 17 de abril de 2001.
25. "Operación y mantenimiento de plantas de tratamiento de aguas residuales por el proceso de lodos activos". Comisión estatal de agua de Jalisco. Dirección de operación de plantas de tratamiento de aguas residuales. México, Jalisco. 2013. pp 27-143.
26. "Programa Nacional Hídrico". Consultado el 02 de junio de 2015. Disponible en:
<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=1&n2=28&n3=28>
27. Ramalho R. S. "Tratamiento de aguas residuales". Reverte. España. 1993.

28. Silva S. J. A. "Diseño conceptual de equipos para el tratamiento de crudos y aguas efluentes". Postgrado en Ingeniería del petróleo. Universidad de Zulia. Facultad de ingeniería. Venezuela, Maracaibo. 2005.
29. "Sistema Nacional de Información del Agua (SINA)". Consultado el 07 de agosto del 2015. Disponible en:
<http://www.conagua.gob.mx/Contenido.aspx?n1=3&n2=60&n3=60>
30. "Teoría, diseño y control de los procesos de clarificación de agua". Serie técnica. SEDAPAL. Perú, Lima. 1972. pp 406-417.
31. "Tratamiento de agua coagulación y floculación". Evaluación de plantas y desarrollo tecnológico. SEDAPAL. Perú, Lima. 2000. pp 5-43.

ANEXOS

A-1.- Determinación de sólidos suspendidos totales (SST)

Materiales

- Embudo Buchner con adaptador de hule para el equipo de filtración
- Desecador
- Filtro de fibra de vidrio de tamaño adecuado al embudo utilizado con una porosidad de 2 μm o menor
- Pinzas para crisol
- Guantes para protección al calor

Equipo

- Bomba de vacío
- Balanza analítica con precisión de 0.1 mg
- Estufa eléctrica para operar a 103-105°C

Procedimiento

Preparación de embudos Buchner

- Introducir el filtro de fibra de vidrio en el crisol con la cara rugosa hacia arriba, mojar el filtro con agua para asegurar que se adhiera al fondo del crisol.
- Los embudos se introducen a la estufa a 103°C - 105°C aproximadamente 1 hora.
- Sacar y enfriar a temperatura ambiente dentro de un desecador.
- Pesar los crisoles y repetir el ciclo hasta alcanzar el peso constante. Registrar como P1.

Preparación de la muestra

- Sacar las muestras del sistema de refrigeración y permitir que alcancen la temperatura ambiente. Agitar las muestras para asegurar la homogeneización de la muestra.

Determinación de SST

- Medir con una probeta, un volumen de 1L de muestra previamente homogeneizada la cual depende de la concentración esperada de sólidos suspendidos.
- Filtrar la muestra a través del embudo Buchner preparado anteriormente aplicando vacío, lavar el disco tres veces con 10 mL de agua, dejando que el agua drene totalmente en cada lavado.
- Suspender el vacío y secar el crisol en la estufa a una temperatura de 103°C a 105°C durante 1 h aproximadamente.
- Sacar y enfriar a temperatura ambiente en desecador y determinar su peso. Registrar como peso P2.
- Calcular el contenido de sólidos suspendidos totales de las muestras como sigue:

$$SST = (P2 - P1) * 1\,000 / V$$

donde:

SST son los sólidos suspendidos totales, en mg/L;

P1 es el peso del crisol con el disco a peso constante, en g;

P2 es el peso del crisol con el disco y el residuo seco, en g, y

V es el volumen de muestra, en L.

Resultados

Primera determinación

Peso constante de embudos Buchner			
# de embudo	peso (g)	peso (g)	peso (g)*
1	96.5953	96.6012	96.6027
2	248.7921	248.7902	248.7905
3	94.7018	94.9018	94.9037
4	114.025	114.0284	114.0299
5	96.7984	96.8041	96.8049
6	150.5451	150.5527	150.5525
7	141.185	141.1891	141.1889
8	58.6697	58.6634	58.6635
9	93.6509	93.6552	93.6543
10	61.3775	61.3806	61.3802

*Se tomara como peso 1 para el cálculo (P1)

Peso del embudo con la muestra	
# de embudo	Peso (g)**
1	96.6105
2	248.7982
3	94.9102
4	114.0343
5	96.8091
6	150.5597
7	141.1931
8	58.6672
9	93.6563
10	61.3822

**Se tomara como peso 2 para el cálculo (P2)

Cálculo de SST de las muestras del arreglo T-G-G-A y T-G-G-A-A

Muestra 1-1

$$\text{SST} = \frac{96.6105 - 96.6027}{1} * 1000 = 7.8 \text{ mg/L}$$

Muestra 2-1

$$\text{SST} = \frac{248.798 - 248.7905}{1} * 1000 = 7.7 \text{ mg/L}$$

Muestra 3-1

$$\text{SST} = \frac{94.9102 - 94.9037}{1} * 1000 = 6.5 \text{ mg/L}$$

Muestra 4-1

$$\text{SST} = \frac{114.034 - 114.0299}{1} * 1000 = 4.4 \text{ mg/L}$$

Muestra 5-1

$$\text{SST} = \frac{96.8091 - 96.8049}{1} * 1000 = 4.2 \text{ mg/L}$$

Muestra 1-2

$$\text{SST} = \frac{150.56 - 150.5525}{1} * 1000 = 7.2 \text{ mg/L}$$

Muestra 2-2

$$\text{SST} = \frac{141.193 - 141.1889}{1} * 1000 = 4.2 \text{ mg/L}$$

Muestra 3-2

$$\text{SST} = \frac{58.6672 - 58.6635}{1} * 1000 = 3.75 \text{ mg/L}$$

Muestra 4-2

$$\text{SST} = \frac{93.6563 - 93.6543}{1} * 1000 = 2 \text{ mg/L}$$

Muestra 5-2

$$\text{SST} = \frac{61.3822 - 61.3802}{1} * 1000 = 2 \text{ mg/L}$$

Segunda determinación

Peso constante de embudos Buchner			
# de embudo	peso (g)	peso (g)	peso (g)*
1	141.1855	141.1848	141.1843
2	150.5434	150.5429	150.5424
3	140.6313	140.6337	140.6337

*Se tomara como peso 1 para el cálculo (P1)

Peso del embudo con la muestra	
# de embudo	Peso (g)**
1	141.1967
2	150.5544
3	140.6449

**Se tomara como peso 2 para el cálculo (P2)

Cálculo de SST de las muestras del arreglo base T-G-G-A	
Muestra 1	
SST= $\frac{141.1967 - 141.1843}{1} * 1000 =$	12.4 mg/L
Muestra 2	
SST= $\frac{150.5544 - 150.5424}{1} * 1000 =$	12 mg/L
Muestra 3	
SST= $\frac{140.6449 - 140.6337}{1} * 1000 =$	11.2 mg/L

A-2.- Determinación de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Materiales

- 6 Botellas winkler de 300 ml
- Probeta en vidrio o plástica de 100 ml
- 4 Matraz aforado de 100 ml
- Matraz aforado de 1L
- Pipeta graduada de 1 ml o gotero plástico

Equipo

- Balanza analítica con precisión de 0,1mg
- Oxímetro

Reactivos

- 48 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$, 40 g de $\text{MnSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, o 36.4 g de $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- 50 g de NaOH o 70 g de KOH
- 13.5 g de NaI o 15 g de KI
- H_2SO_4 , concentrado
- 2 g de almidón soluble grado analítico
- 0.2 g de ácido salicílico
- 6.205 g de $\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- 1.5 mL de NaOH 6N o 0,4 g de NaOH sólido
- 81.24 mg de $\text{KH}(\text{IO}_3)_2$ o 89.17 mg de yodato de potasio KIO_3

Preparación de Reactivos

- Disolución de sulfato magnesio
Pesar aproximadamente 22.5 g de sulfato de magnesio heptahidratado ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), disolver en agua y aforar a 1 litro.
- Disolución amortiguadora de fosfatos
Pesar 8.5 g de fosfato monobásico de potasio (KH_2PO_4), 21.75 g de fosfato dibásico de potasio (K_2HPO_4), 33.4 g de fosfato dibásico de sodio heptahidratado ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) y 1.7 g de cloruro de amonio (NH_4Cl), disolver en 500 ml de agua y aforar a 1 litro. El pH de la disolución debe ser de 7.2. Desechar si hay algún signo de crecimiento biológico en el frasco
- Disolución de cloruro de calcio

Pesar a proximadamente 27.5 g de cloruro de calcio anhidro (CaCl_2), disolver en agua y aforar a 1 litro.

Preparación de agua para dilución

- Colocar el volumen requerido de agua y añadir por cada litro de agua 1ml de cada una de las disoluciones preparadas anteriormente.
- Debe ponerse a 20°C y saturar con oxígeno aireando con aire filtrado libre de materia orgánica durante 1 hora por lo menos.

Procedimiento

- Añadir el volumen de muestra deseado a los frascos winkler, 3 frascos con 5ml y 3 frascos con 10ml.
- Llenar los frascos con suficiente agua de dilución de forma que la inserción del tapón desplace todo el aire, sin dejar burbujas.
- Determinar el oxígeno disuelto inicial en cada uno de los frascos.
- Incubar durante 5 días a 20°C. Al cabo de ese tiempo determinar la cantidad de oxígeno disuelto en la muestra.
- Calcular la DBO_5 de la siguiente manera:

$$\text{DBO}_5 = \frac{\text{OD inicial} - \text{OD al 5to día}}{\% \text{ de dilución expresado en decimales}}$$

Resultados arreglo base T-G-G-A

Oxígeno Disuelto con muestra de 5 ml			
Frasco	Oxígeno Disuelto Inicial (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 4to día (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 7mo día (mg/L)
1	6.59 (22.7 °C, 103.2 % de sat, 587 mmHg, 4:37 PM)	5.38 (21.7 °C, 82.7 % de sat, 588 mmHg, 4:53 PM)	4.66 (22.1 °C, 72.2 % de sat, 587 mmHg, 5:07 PM)
2	6.59 (22.5 °C, 102.5 % de sat, 587 mmHg, 4:45 PM)	5.4 (21.8 °C, 83 % de sat, 588 mmHg, 4:54 PM)	5.12 (22.2 °C, 79.6 % de sat, 587 mmHg, 5:11 PM)
3	6.6 (22.3 °C, 102.6 % de sat, 587 mmHg, 4:53 PM)	5.38 (22 °C, 83 % de sat, 588 mmHg, 4:56 PM)	5.23 (22.2 °C, 81.1 % de sat, 587 mmHg, 5:13 PM)

Frasco	Oxígeno Disuelto al 5to día por regresión lineal mg/L
1	5.1736
2	5.3172
3	5.3679

Oxígeno Disuelto con muestra de 10 ml			
Frasco	Oxígeno Disuelto Inicial (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 4to día (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 7mo día (mg/L)
1	6.6 (22.3 °C, 102.6 % de sat, 587 mmHg, 4:59 PM)	4.94 (22 °C, 76.2 % de sat, 588 mmHg, 4:57 PM)	4.55 (22 °C, 70.3 % de sat, 587 mmHg, 5:14 PM)
2	6.6 (22.3 °C, 102.6 % de sat, 587 mmHg, 5:03 PM)	4.72 (22 °C, 72.9 % de sat, 588 mmHg, 4:59 PM)	3.85 (22.1 °C, 89.7 % de sat, 587 mmHg, 5:15 PM)
3	6.6 (22.3 °C, 102.5 % de sat, 587 mmHg, 5:08 PM)	4.81 (22.3 °C, 74.6 % de sat, 588 mmHg, 5:00 PM)	3.85 (22.2 °C, 59.7 % de sat, 587 mmHg, 5:16 PM)

Frasco	Oxígeno Disuelto al 5to día por regresión lineal mg/L
1	4.7639
2	4.5274
3	4.559

Cálculo de DBO₅ evaluada a 5 días del arreglo base T-G-G-A

$$DBO_5 = \frac{OD \text{ inicial} - OD \text{ final}}{\% \text{ de dilución de la muestra}}$$

Muestra de 5 ml

Frasco 1

$$DBO_5 = \frac{6.59 - 5.1736}{0.0166} = 85.3253012 \text{ mg/L}$$

Frasco 2

$$DBO_5 = \frac{6.59 - 5.31}{0.0166} = 76.6746988 \text{ mg/L}$$

Frasco 3

$$DBO_5 = \frac{6.6 - 5.3679}{0.0166} = 74.2228916 \text{ mg/L}$$

$$\Sigma = 236.222892 \text{ mg/L}$$

$$\text{Promedio} = \underline{78.74096386} \text{ mg/L}$$

Muestra de 10 ml

Frasco 1

$$DBO_5 = \frac{6.6 - 4.7639}{0.0333} = 55.1381381 \text{ mg/L}$$

Frasco 2

$$DBO_5 = \frac{6.6 - 4.5274}{0.0333} = 62.2402402 \text{ mg/L}$$

Frasco 3

$$DBO_5 = \frac{6.6 - 4.559}{0.0333} = 61.2912913 \text{ mg/L}$$

$$\Sigma = 178.66967 \text{ mg/L}$$

$$\text{Promedio} = \underline{59.55655656} \text{ mg/L}$$

Resultado arreglo 5 T-G-G-A

Oxígeno Disuelto drenaje sanitario con muestra de 50 ml		
Frasco	Oxígeno Disuelto Inicial (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 5to día (mg/L)
1	7.11 (21.1 °C, 104.6 % de sat, 586 mmHg, 5:28 PM)	0.49 (20.8 °C, 7.8 % de sat, 588 mmHg, 5:41 PM)
2	7.10 (20.8 °C, 103.9 % de sat, 586 mmHg, 5:30 PM)	0.34 (20.7 °C, 4.9 % de sat, 588 mmHg, 5:42 PM)
3	7.10 (21.0 °C, 104.4 % de sat, 586 mmHg, 5:32 PM)	0.44 (20.8 °C, 6.5 % de sat, 588 mmHg, 5:43 PM)

Oxígeno Disuelto drenaje sanitario (90%) y drenaje aceitoso (10%) con muestra de 50 ml		
Frasco	Oxígeno Disuelto Inicial (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 5to día (mg/L)
1	7.09 (20.9 °C, 103.9 % de sat, 586 mmHg, 5:33 PM)	0.05 (20.8 °C, 0.7 % de sat, 588 mmHg, 5:45 PM)
2	7.07 (21.1 °C, 104.1 % de sat, 586 mmHg, 5:35 PM)	0.54 (20.8 °C, 7.8 % de sat, 588 mmHg, 5:46 PM)
3	7.07 (21.1 °C, 103.9 % de sat, 586 mmHg, 5:37 PM)	0.21 (20.8 °C, 3.1 % de sat, 588 mmHg, 5:47 PM)

Oxígeno Disuelto drenaje aceitoso con muestra de 50 ml		
Frasco	Oxígeno Disuelto Inicial (mg/L)	Oxígeno Disuelto al 5to día (mg/L)
1	7.05 (21.0 °C, 103.5 % de sat, 586 mmHg, 5:39 PM)	0.09 (20.9 °C, 1.2 % de sat, 588 mmHg, 5:49 PM)
2	7.05 (21.1 °C, 103.8 % de sat, 586 mmHg, 5:41 PM)	0.05 (20.7 °C, 0.7 % de sat, 588 mmHg, 5:50 PM)

Cálculo de DBO₅ evaluada a 5 días del arreglo 5 T-G-G-A

$$DBO_5 = \frac{OD \text{ inicial} - OD \text{ final}}{\% \text{ de dilución de la muestra}}$$

Drenaje sanitario

Frasco 1

$$DBO_5 = \frac{7.11 - 0.49}{0.16666} = 39.7358 \quad \text{mg/L}$$

Frasco 2

$$DBO_5 = \frac{7.10 - 0.34}{0.16666} = 40.5616 \quad \text{mg/L}$$

Frasco 3

$$DBO_5 = \frac{7.10 - 0}{0.16666} = 39.9615 \quad \text{mg/L}$$

$$\Sigma = 120.2589 \quad \text{mg/L}$$

$$\text{Promedio} = \underline{40.0863} \quad \text{mg/L}$$

Drenaje sanitario (90%) y drenaje aceitoso (10%)

Frasco 1

$$DBO_5 = \frac{7.09 - 0.05}{0.16666} = 42.2416 \quad \text{mg/L}$$

Frasco 2

$$DBO_5 = \frac{7.07 - 0.54}{0.16666} = 39.1815 \quad \text{mg/L}$$

Frasco 3

$$DBO_5 = \frac{7.07 - 0.21}{0.16666} = 41.1616 \quad \text{mg/L}$$

$$\Sigma = 122.5847 \quad \text{mg/L}$$

$$\text{Promedio} = \underline{40.8615} \quad \text{mg/L}$$

Drenaje aceitoso

Frasco 1

$$DBO_5 = \frac{7.11 - 0.09}{0.16666} = 42.1216 \quad \text{mg/L}$$

Frasco 2

$$DBO_5 = \frac{7.10 - 0.05}{0.16666} = 42.3016 \quad \text{mg/L}$$

$$\Sigma = 84.4232 \quad \text{mg/L}$$

$$\text{Promedio} = \underline{42.2116} \quad \text{mg/L}$$

A-3.- Disposición de residuos

La disposición de residuos corresponderá a los residuos generados por la filtración del agua residual, más en específico el lecho de filtración que es desechado por el sistema de tratamiento tras su año de uso y se abordará de manera general. Esto debido a que se prohíbe arrojar o depositar en los cuerpos receptores y zonas federales, en contravención a las disposiciones legales y reglamentarias en materia ambiental, basura, materiales, lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales y demás desechos o residuos que por efecto de disolución o arrastre, contaminen las aguas de los cuerpos receptores, así como a aquellos desechos o residuos considerados peligrosos en las Normas Oficiales Mexicanas respectivas. Se sancionará en términos de Ley a quien incumpla esta disposición.

Para este caso se debe recabar la “constancia de no peligrosidad de los mismos” en términos del trámite SE MARNAT-07-007, es responsabilidad del generador determinar conforme a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, si un residuo es peligroso. En la NOM-052-SEMARNAT-2005 se establecen las características, el procedimiento de identificación y de clasificación y los listados de los residuos peligrosos.

Conforme a la NOM-004-SEMARNAT-2002 para que los biosólidos puedan ser aprovechados, deben cumplir con la especificación 4.4, 4.5, 4.6, 4.7 y 4.8; y lo establecido en las tablas 1, 2 y 3 mostradas a continuación:



TABLA 1
LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS EN BIOSOLIDOS

CONTAMINANTE (determinados en forma total)	EXCELENTES mg/kg en base seca	BUENOS mg/kg en base seca
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1 200	3 000
Cobre	1 500	4 300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2 800	7 500

TABLA 2
**LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES PARA PATOGENOS
Y PARASITOS EN LODOS Y BIOSOLIDOS**

CLASE	INDICADOR BACTERIOLOGICO DE CONTAMINACION	PATOGENOS	PARASITOS
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	<i>Salmonella spp.</i> NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1(a)
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

(a) Huevos de helmintos viables

TABLA 3
APROVECHAMIENTO DE BIOSOLIDOS

TIPO	CLASE	APROVECHAMIENTO
EXCELENTE	A	- Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos para clase B y C
EXCELENTE O BUENO	B	- Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación - Los establecidos para clase C
EXCELENTE O BUENO	C	- Usos forestales - Mejoramientos de suelos - Usos agrícolas

Para la disposición final de los lodos y biosólidos, estos deben cumplir con la especificación de los límites máximos permisibles para el contenido del indicador de contaminación, patógenos y parásitos especificados en la tabla 2, para clase C y con la constancia de no peligrosidad. Sin embargo, los sitios para la disposición final de lodos y biosólidos, serán los que autorice la autoridad competente, conforme a la normatividad vigente en la materia.

Como generador de lodos y biosólidos, se debe realizar los muestreos y análisis correspondientes por medio de laboratorios acreditados correspondientes par a

demostrar el cumplimiento de la presente Norma Oficial Mexicana y deberá conservar los registros por lo menos los siguientes 5 (cinco) años posteriores a su realización. La frecuencia de muestreo y análisis para los lodos y biosólidos se realizará en función del volumen de lodos generados como se establece en la tabla 4.

TABLA 4
FRECUENCIA DE MUESTREO Y ANALISIS
PARA LODOS Y BIOSOLIDOS

Volumen generado por año (Ton/Año) en base seca	Frecuencia de muestreo y análisis	Parámetros a determinar
Hasta 1,500	Una vez al año	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 1,500 hasta 15,000	Una vez por semestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos
Mayor de 15,000	Una vez por trimestre	Metales pesados, indicador bacteriológico de contaminación, patógenos y parásitos

Por último, se deberá contar con una bitácora de control de lodos y biosólidos, de acuerdo a lo siguiente:

CONTENIDO DE LA BITACORA DE CONTROL DE LODOS Y BIOSOLIDOS	
1.- Generador	
2.- Producción en base seca (Ton.) por: día y mes	
3.- Fecha muestreo	
4.- Laboratorio que analizó	
5.- Salida del producto:	
• fecha	
• cantidad en base seca (Ton.)	
• destinatario	

Opciones para la reducción de atracción de vectores

Los responsables podrán aplicar cualquiera de las siguientes opciones para el control de atracción de vectores o cualquier otra que se de muestre que es efectiva, estas se pueden consultar detalladamente en la NOM-004-SEMARNAT-2002 Anexo I.

Opción 1: Reducción en el contenido de sólidos volátiles

Opción 2: Digestión adicional de los biosólidos digeridos anaeróbicamente

Opción 3: Digestión adicional de los biosólidos digeridos aeróbicamente

Opción 4: Procesos aerobios a más de 40 °C

Opción 5: Adición de materia alcalina

Opción 6: Reducción en la humedad de biosólidos que no contienen sólidos sin estabilizar

Opción 7: Reducción en la humedad de biosólidos que contienen sólidos no estabilizados

Opción 8: Tasa específica de absorción de oxígeno (TEAO) para biosólidos digeridos aeróbicamente

Opción 9: Incorporación de biosólidos al suelo

A-4.- Formatos para la modificación administrativa de concesión al permiso de descarga

	COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA SOLICITUD ÚNICA DE SERVICIOS HÍDRICOS DATOS GENERALES
● Persona Física () ● Persona Moral ()	
A. Nombre o razón social: _____	
B. Registro Federal de Contribuyentes (RFC si es causante), o Clave Única de Registro de Población (CURP) (Personas Físicas): RFC _____ CURP _____	
C. Domicilio: Calle, número(s) o nombre del predio: _____ Colonia: _____ C.P. _____ Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____ Tel. _____ (optativo) Nacionalidad: _____ Únicamente para trámites CNA-01-005 y CNA-01-006	
D. Nombre del (o los) representante(s) legal(es) (en su caso) _____	
E. Domicilio para oír y recibir toda clase de notificaciones: Calle, número(s) o nombre del predio: _____ Colonia: _____ C.P. _____ Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____ Tel. _____ (optativo)	
F. Acepto se me notifique cualquier información de mi trámite incluso la resolución por medio electrónico (Con fundamento en los artículos 35 fracción II y 69-C de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo). Si () No () Dirección de Correo Electrónico: _____	
G. Desea que la información proporcionada para su trámite sea pública: Sí () No ()	
Nota: La información y documentación presentada se entenderán bajo protesta de decir verdad.	
PARA USO EXCLUSIVO DE LA CONAGUA	
Nº de Expediente: _____ _____ _____ _____ _____	<i>Para cualquier aclaración, orientación o duda, usted puede llamar sin costo desde cualquier lugar del país, al teléfono:</i> 01800 1119303 <i>De la Comisión Nacional del Agua</i>
Cuenca Hidrológica o Acuífero: _____ Región Hidrológica: _____	
La información requerida se fundamenta en lo dispuesto en los artículos 21, 21 BIS, 24, 25, 30, 33, 42, 43, 88, 113, 113 Bis y 118 de la Ley de Aguas Nacionales; 29, 32, 44, 138, 141, 174, 175 y 176 de su Reglamento; 3, 15, 35 y 69-C de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo y el artículo Tercero Transitorio del Acuerdo por el que se dan a conocer los trámites y servicios inscritos en el Registro Federal de Trámites y Servicios que aplica la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; y 192, 192-A, 192-B, 192-C, 192-D y 224 de la Ley Federal de Derechos.	



COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA SOLICITUD DE SERVICIO

CNA-01-010 MODIFICACIÓN ADMINISTRATIVA DE CONCESIÓN DE APROVECHAMIENTO DE AGUAS NACIONALES Y/O PERMISOS DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES

Indique con una "X" en los paréntesis su selección y en los espacios anote la información solicitada.

1.- Número del título o permiso de descarga objeto de la modificación: _____

2.- Anexo N° _____ de _____

3.- Modificación o modificaciones que solicita:

() Corrección de errores () Cambio de domicilio () Otro (Especificar): _____

4.- Descripción de la modificación solicitada:

CONCEPTO	AUTORIZADO	SOLICITADO

DOCUMENTACIÓN NECESARIA PARA REALIZAR SU TRÁMITE

CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
I SOLICITUD	Presentar debidamente llenados, los formatos denominados "Solicitud Única de Servicios Hídricos, Datos Generales" y "CNA-01-010 Modificación Administrativa de concesión de aprovechamiento de aguas nacionales y/o permisos de descarga de aguas residuales" en original y sus anexos en copia simple. También se puede presentar un escrito libre que contenga la información señalada en ellos, o bien por medios electrónicos cuando aplique.
II ACREDITACIÓN DE LA PERSONALIDAD JURÍDICA	Acreditar la personalidad jurídica de la persona física o moral interesada y en su caso, del representante legal autorizado.
III TÍTULO DE CONCESIÓN O PERMISO	Presentar el original Título de Concesión o Permiso que se va a modificar.
IV DOCUMENTO QUE AVALE LA MODIFICACIÓN O CORRECCIÓN SOLICITADA	Se deberá presentar la documentación que avale o soporte la modificación o corrección solicitada.
V COMPROBANTE DEL PAGO DE DERECHOS	Al momento de solicitar el trámite, el interesado deberá presentar ante la Autoridad del Agua, el comprobante de pago de derechos, original para cotejo y copia simple (Art. 3 y 192-C Fracción II de la Ley Federal de Derechos).

Los documentos que acrediten la personalidad deben ser vigentes al momento de presentar la solicitud. La resolución del trámite CNA-01-010 debe emitirse y ponerse a disposición del solicitante dentro del siguiente plazo, contado a partir de la presentación de la solicitud y estando debidamente integrado el expediente: 21 días hábiles.

Todo documento original puede presentarse en copia certificada y éstos podrán acompañarse de copia simple, para cotejo, caso en el que se regresará al interesado el documento cotejado (excepto en el caso de títulos de concesión, para dar de baja las hojas foliadas)

El presente trámite y la información requerida en él, se fundamenta en lo dispuesto en los artículos 28 fracciones VI, 29 BIS 1 fracción III, 30 fracciones III, VI y último párrafo y 31 párrafos tercero y quinto de la Ley de Aguas Nacionales; 57 fracciones IV y VI, 58 primer párrafo y 59 último párrafo de su Reglamento; 3°, 15 y 15-A Fracción III de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo; 3°, 192 fracción IV, 192-C fracción II y 192-D de la Ley Federal de Derechos.

FIRMA O HUELLA DIGITAL DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S) *
O REPRESENTANTE(S) LEGAL(ES)

NOMBRE(S): _____

* Agregar iniciales del (de los) solicitante(s) en la parte inferior de la huella digital.

A-5.- Formatos para la modificación técnica de concesión al permiso de descarga

	COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA SOLICITUD ÚNICA DE SERVICIOS HÍDRICOS DATOS GENERALES	
● Persona Física () ● Persona Moral ()		
A. Nombre o razón social: _____		
B. Registro Federal de Contribuyentes (RFC si es causante), o Clave Única de Registro de Población (CURP) (Personas Físicas): RFC _____ CURP _____		
C. Domicilio: Calle, número(s) o nombre del predio: _____ Colonia: _____ C.P. _____ Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____ Tel. _____ (optativo) Nacionalidad: _____ Únicamente para trámites CNA-01-005 y CNA-01-006		
D. Nombre del (o los) representante(s) legal(es) (en su caso): _____		
E. Domicilio para oír y recibir toda clase de notificaciones: Calle, número(s) o nombre del predio: _____ Colonia: _____ C.P. _____ Localidad: _____ Municipio: _____ Estado: _____ Tel. _____ (optativo)		
F. Acepto se me notifique cualquier información de mi trámite incluso la resolución por medio electrónico (Con fundamento en los artículos 35 fracción II y 69-C de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo). Sí () No () Dirección de Correo Electrónico: _____		
G. Desea que la información proporcionada para su trámite sea pública: Sí () No ()		
Nota: La información y documentación presentada se entenderán bajo protesta de decir verdad.		
PARA USO EXCLUSIVO DE LA CONAGUA		
No de Expediente: _____ _____ _____ _____ _____	<i>Para cualquier aclaración, orientación o duda, usted puede llamar sin costo desde cualquier lugar del país, al teléfono:</i> 01800 1119303 <i>De la Comisión Nacional del Agua</i>	Sello
Cuenca Hidrológica o Acuífero: _____ Región Hidrológica: _____		
La información requerida se fundamenta en lo dispuesto en los artículos 21, 21 BIS, 24, 25, 30, 33, 42, 43, 88, 113, 113 Bis y 118 de la Ley de Aguas Nacionales; 29, 32, 44, 136, 141, 174, 175 y 176 de su Reglamento; 3, 15, 35 y 69-C de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo y el artículo Tercero Transitorio del Acuerdo por el que se dan a conocer los trámites y servicios inscritos en el Registro Federal de Trámites y Servicios que aplica la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales; y 192, 192-A, 192-B, 192-C, 192-D y 224 de la Ley Federal de Derechos.		

	COMISIÓN NACIONAL DEL AGUA SOLICITUD DE SERVICIO CNA-01-012 MODIFICACIONES TÉCNICAS DE TÍTULOS DE CONCESIÓN Y/O PERMISOS DE DESCARGA DE AGUAS RESIDUALES	
En caso de más de un aprovechamiento en el mismo predio, proporcionar la información de cada uno de ellos en copia de este formato.		
Indique con una "X" en los paréntesis su selección y en los espacios anote la información solicitada.		
1.- Número del Título de concesión o permiso de descarga que desea modificar: _____		
2.- Anexo N° _____ de _____		
3.- Modificación que solicita: ☐ Nueva perforación con objeto de completar el volumen autorizado ☐ Profundización ☐ Redistribución de volumen de descarga ☐ Cambio de forma de descarga ☐ Cambio de procedencia de la descarga ☐ Reposición ☐ Relocalización de obra ☐ Relocalización de punto de descarga ☐ Cambio de frecuencia de muestreo ☐ Otro (describalo): _____		
4.- Tipo de descarga que pretende modificar (solo en caso de modificar permiso de descarga): ☐ Industrial ☐ Municipal ☐ Servicios ☐ Otra (describala): _____		
5.- Describa brevemente los motivos por los que solicita la modificación: _____ _____ _____		
DOCUMENTACIÓN NECESARIA PARA REALIZAR SU TRÁMITE		
I	CONCEPTO	DESCRIPCIÓN
I	SOLICITUD	Presentar debidamente llenados, los formatos denominados "Solicitud Única de Servicios Hidráulicos, Datos Generales", y "CNA- 01-012 modificaciones técnicas de títulos de concesión y/o permisos de descarga de aguas residuales", en original y sus anexos en copias simples. También se puede presentar un escrito libre que contenga la información señalada en ellos, o bien por medios electrónicos cuando aplique.
II	ACREDITACIÓN DE LA PERSONALIDAD JURÍDICA	Acreditar la personalidad jurídica de la persona física o moral interesada y en su caso, del representante legal autorizado. Los documentos que acrediten la personalidad deben estar vigentes.
III	MEMORIA TÉCNICA (PARA CUANDO SE REQUIERE CONSTRUCCIÓN DE OBRAS)	Memoria técnica con los planos de las obras correspondientes que contengan la descripción y características de las obras a realizar.
IV	ACREDITACIÓN DE LA PROPIEDAD O POSESIÓN DEL TERRENO	Los que acrediten la propiedad o posesión del inmueble donde se localizará la extracción de las aguas, así como los relativos a la propiedad o posesión de las superficies a beneficiar (para los casos de relocalización y modificación de permiso de descarga).
V	CROQUIS DE LOCALIZACIÓN	Un dibujo que indique la ubicación del predio, con los puntos de referencia que permitan su localización y la del sitio donde se localizará la extracción de las aguas o las descargas (excepto en el caso de solicitud de profundización).
VI	ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO ORGÁNICO DE LAS AGUAS RESIDUALES	Para modificación del permiso de descarga se deberá presentar el análisis físico químico orgánico de las aguas residuales y especificaciones de cada descarga.
VII	COMPROBANTE DEL PAGO DE DERECHOS	Al momento de solicitar el trámite, el interesado deberá presentar ante la Autoridad del Agua, el comprobante de pago de derechos, original para cotejo y copia simple (Art. 9 de la Ley Federal de Derechos). El pago es por cada uno de los permisos que solicite (es decir, un pago para nueva perforación, reposición, profundización o relocalización y otro por modificaciones al permiso de descarga de aguas residuales).
VIII	EVALUACIÓN DE IMPACTO AMBIENTAL	El usuario deberá anexar el resolutorio de la manifestación de impacto ambiental o la exención de la misma, emitida por la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT). Dicha evaluación del impacto ambiental, es para cuando se requieren obras o actividades de las señaladas en el artículo 5 Apartado A) del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental.
NOTA: En vez de entregar copia de los permisos, registros, licencias y, en general, de cualquier documento expedido por la propia SEMARNAT o sus órganos administrativos desconcentrados, los interesados podrán señalar los datos de identificación de dichos documentos, excepto cuando se trate de trámites de sustitución del titular de dichos documentos, caso en el que se deberá entregar el original para su cancelación. El presente trámite y la información requerida en él, se fundamenta en lo dispuesto en los artículos 22 y 25 párrafos quinto, sexto, octavo y noveno, 30 fracción III, VI y último párrafo y 31 párrafos tercero y quinto, 42 fracción II, 43 y 88 Bis fracción VI de la Ley de Aguas Nacionales; 57 fracción IV y VI, 58 primer párrafo, 59 último párrafo, 60 y 138 de su Reglamento; 102 fracción IV, 102-A fracción V, 102-C fracción II y 102-D de la Ley Federal de Derechos; 3º, 15, 15-A fracción II, 17 y 17-A de la Ley Federal de Procedimiento Administrativo y 5 Apartado A) del Reglamento de la Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente en materia de Evaluación del Impacto Ambiental. Todo documento original puede presentarse en copia certificada y éstos podrán acompañarse de copia simple, para cotejo, caso en el que se regresará al interesado el documento cotejado. La resolución del trámite CNA-01-012 debe emitirse y ponerse a disposición del solicitante dentro del siguiente plazo, contado a partir de la presentación de la solicitud y estando debidamente integrado el expediente: 60 días hábiles.		
FIRMA O HUELLA DIGITAL DEL (DE LOS) SOLICITANTE(S) * O REPRESENTANTE(S) LEGAL(ES)		
NOMBRE(S): _____ * Agregar iniciales del (de los) solicitante(s) en la parte inferior de la huella digital.		