



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

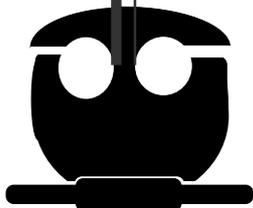
TITULO
IMPORTANCIA DEL MANEJO DEL
EFLUENTE DE LA RED DE DRENAJE
ACEITOSO EN LOS PROCESOS DE
REFINACIÓN DEL PETRÓLEO.

Trabajo escrito Vía Cursos de Educación Continua
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERA QUÍMICA

P R E S E N T A :

LORENA RODRÍGUEZ LAZARINI



MÉXICO, D.F.

2007.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente	Prof.	Dra. Elvira Santos Santos
Vocal	Prof.	Dr. José Sabino Sámano Castillo
Secretario	Prof.	Ing. Raúl Sánchez Meza
1 ^{ER} . Suplente	Prof.	Ing. Marisol Pasalagua Palacios
2 ^{DO} . Suplente	Prof.	Ing. Jorge Rafael Martínez Peniche

SITIO EN DONDE SE DESARROLLO EL TEMA:

**FACULTAD DE QUÍMICA,
Edificio "D",
Circuito Institutos,
Ciudad Universitaria,
C.P. 045510**

ASESOR DEL TEMA:

Dr. José Sabino Sámano Castillo.

SUSTENTANTE:

LORENA RODRÍGUEZ LAZARINI.

DEDICATORIAS:

A MIS PADRES

Dr. Julián Rafael Rodríguez Luna
Sra. María Lilia Lazarini Rojas.

Por todo el amor, el apoyo y la comprensión que me han brindado durante el transcurso de mi vida, y que han sido las bases para desarrollarme como profesional.

A MIS HERMANAS

Laura, Claudia, Edith y Diana.

Por el amor que me han brindado y por que han estado conmigo en todo momento.

A MIS SOBRINAS

Claudia Edith y Andrea Natalia.

Por todo el amor y la paciencia que me han tenido.

A MI CUÑADO

Jorge Calderón Roque.

Por su comprensión y paciencia.

A MI TÍO

Dr. Rogelio Lazarini Rojas.

Por el amor y paciencia que me ha tenido y por enseñarme a salir adelante en la vida.

A MIS AMIGOS

Gina Góngora, Laura Uribe, Rosangel Torres, Federico Cervantes.
Por su valiosa amistad, cariño y apoyo permanente.

AGRADECIMIENTOS:

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Por haberme brindado la oportunidad de realizar los estudios que han sido la base de mi desarrollo profesional y por los momentos inolvidables que he vivido en ella.

Al Dr. José Sabino Sámano Castillo.

Por su apoyo, asesoría y paciencia en la realización del presente trabajo.

Al Ing. Eduardo Lugo Vega.

Por su apoyo, orientación y supervisión en la realización de este trabajo.

Al Ing. Jorge Antúnez Velásquez.

Por su apoyo para el desarrollo de este trabajo.

Al Instituto Mexicano del Petróleo.

Por brindarme las facilidades para el logro de este trabajo.

ÍNDICE.

RESUMEN.....	3
INTRODUCCIÓN.....	4
I.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE AGUAS RESIDUALES.....	6
I.2 TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE DRENAJES EN UNA REFINERÍA.....	6
I.3 ORIGEN DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS A DRENAJE ACEITOSO.....	9
I.3.1 Agua de enfriamiento.....	9
I.3.2 Agua residual de unidades de proceso y tanques de almacenamiento...	10
I.3.3 Condensado aceitoso.....	10
I.3.4 Agua de lastre.....	11
I.3.5 Agua de lluvia.....	11
I.4 CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS EFLUENTES DE REFINERÍA.....	11
I.4.1 Componentes del crudo.....	12
I.4.1.1 Alcanos.....	12
I.4.1.2 Cicloalcanos.....	13
I.4.1.3 Olefinas.....	14
I.4.1.4 Compuestos aromáticos.....	15
I.4.1.5 Fenoles.....	16
I.4.1.6 Compuestos de azufre.....	17
I.4.1.7 Compuestos de nitrógeno.....	18
I.4.1.8 Metales pesados.....	18
I.4.2 Demanda de oxígeno.....	19
I.4.3 Materia suspendida.....	19
I.4.4 El comportamiento de hidrocarburos en agua.....	20
II.1 ESTRUCTURA CONVENCIONAL DE UN DRENAJE EN ÁREAS DE PROCESO DE REFINACIÓN.....	22
II.2 TRATAMIENTO DE EFLUENTES.....	25
II.2.1 Definición y selección de tratamientos.....	26
II.2.2 Etapas generales en el tratamiento de efluentes de los drenajes aceitosos.....	28
II.2.3 Pretratamiento y Tratamiento Primario.....	29

ÍNDICE.

II.2.3.1 Cribado.....	29
II.2.3.2 Sedimentación.....	30
II.2.3.2.1 Sedimentación Tipo I o discreta.....	30
II.2.3.2.2 Sedimentación Tipo II.....	30
II.2.3.2.3 Sedimentación Tipo III o por zonas.....	31
II.2.3.2.3 Sedimentación Tipo IV o por compresión.....	31
II.2.3.3 Equipos separadores.....	31
II.2.3.3.1 Separador API (American Petroleum Institute).....	31
II.2.3.3.2 Separador de placas paralelas.....	33
II.2.3.3.3 Separador de placas corrugadas.....	34
II.2.3.4 Flotación.....	35
II.2.3.5 Neutralización (y Homogeneización).....	36
II.2.3.6 Métodos de control directo de pH.....	37
II.2.3.6.1 Neutralización de aguas residuales alcalinas.....	37
II.2.3.6.2 Efectos tampón de las aguas residuales.....	37
II.2.3.7 Aeración en tratamiento de aguas residuales.....	38
II.2.3.7.1 Teoría de la doble película.....	38
II.3 DISPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES DEL DRENAJE ACEITOSO.....	40
II.4 NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE.....	41
II.4.1 Marco constitucional del agua.....	42
II.4.2 Ley de aguas nacionales.....	44
II.4.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente.....	47
II.4.4 Normas Oficiales Mexicanas.....	48
III.1 PLANTEAMIENTO DE LA NUEVA ESTRUCTURA PARA EL MANEJO DEL DRENAJE ACEITOSO DE PROCESOS DE REFINACIÓN.....	54
III.2 ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS EFLUENTES DE DRENAJES ACEITOSOS.....	56
III.3 ESTRUCTURA NUEVA DE DRENAJES ACEITOSOS EN ÁREAS DE PROCESO.....	59
CONCLUSIONES.....	82
RECOMENDACIONES.....	83
BIBLIOGRAFÍA.....	84

RESUMEN.

En México, la industria petrolera es la fuente principal de las divisas del país, sin embargo, debido a las exigencias económicas basadas en la productividad y la explotación, durante mucho tiempo, se han considerado en un plano secundario las afectaciones al medio ambiente causadas por las emisiones al aire, suelo y agua.

En algunos procesos de los diversos sectores de la industria petrolera, el agua es utilizada en grandes cantidades para múltiples propósitos, lo cual resulta en una gran cantidad de aguas residuales, que finalmente, son vertidas a cuerpos de agua o bienes nacionales, causando daños al medio ambiente y a la sociedad.

Debido a la extensión de la problemática de la contaminación del agua, este trabajo tiene como objetivo el manejo de uno de los tipos de aguas residuales generadas por los procesos de las plantas de Refinación, los drenajes aceitosos, cuyos contaminantes que se encuentran en mayor proporción son los hidrocarburos, y su origen se debe a las interacciones directas o indirectas que tienen estos con el agua en los múltiples procesos de las diversas áreas de las instalaciones de las plantas de Refinación.

La importancia del manejo de los efluentes de la red de drenajes aceitosos es debido a que los sistemas de tratamiento existentes no son suficientes y/o adecuados para prevenir la contaminación o la reducción de la producción de grandes volúmenes de agua con altos contenidos de hidrocarburos, los cuales pueden ser recuperados y procesados nuevamente, eliminando a su vez, pérdidas de recursos materiales y energéticos; por lo tanto, en este trabajo se plantea un esquema de integración de drenajes aceitosos como una probable alternativa para minimizar la problemática planteada.

INTRODUCCIÓN.

Uno de los principales problemas a los que se está enfrentando la humanidad, es sufrir los efectos del manejo irracional de los recursos naturales, los cuales han tenido un proceso de devastación causado por la aparición de un estilo de desarrollo consumista.

En México, uno de los factores que ha dado la alarma en el deterioro de los recursos naturales y de contaminación, ha tenido origen en la industria petrolera, debido a que las exigencias económicas basadas en la productividad y explotación no tomaron en cuenta la fragilidad de los ecosistemas, por lo que el ahorro de recursos financieros no se tradujo en ahorro de recursos naturales y mejor aprovechamiento.

Por otra parte, hay que reconocer que la industria petrolera se ha convertido en el puntal de la economía nacional, siendo la principal fuente de divisas para el país, sin embargo, esto no es motivo para menospreciar los efectos adversos que ha causado al ambiente.

Entre los recursos naturales que han sido afectados por esta industria, se tiene el agua, que como es sabido, corresponde a uno de los principales recursos limitantes para el desarrollo económico y social, así que su relativa escasez y la importancia determinante para el funcionamiento de los ecosistemas, dan origen a que este recurso natural sea uno de los principales objetivos de protección ambiental de la sociedad moderna.

En algunos procesos de la industria petrolera, se emplea agua de manera intensiva, y como consecuencia, se generan grandes volúmenes de descargas de agua residual.

En este caso, se hace referencia a los procesos del sector de Refinación, en el cual el consumo de agua es fundamental para llevar a cabo varios propósitos, entre los cuales se encuentran los siguientes:

- Agua de enfriamiento.
- Agua para generación de vapor.
- Agua de proceso directo.
- Agua de lavado y limpieza de equipo durante su mantenimiento.
- Agua de servicios para uso sanitario, doméstico y diversos servicios.
- Agua contra incendio.

El principal contaminante que se encuentra en las aguas residuales son los hidrocarburos, producto de las interacciones directas o indirectas en los procesos

de las plantas, el contenido de estos en la descarga de las aguas residuales aceitosas son la causa de la contaminación de los cuerpos receptores de estos efluentes, ya sean bienes o aguas nacionales, además de las pérdidas netas de recursos materiales que no fueron incorporados en el producto final.

Las grasas y aceites, constituyen uno de los parámetros que se encuentran controlados por la normatividad ambiental vigente, y para cumplimiento de ello, es necesario tomar en cuenta la implementación de estrategias que permitan llevar a cabo la reducción de la emisión de estos contaminantes a las aguas residuales.

En este trabajo, se considera que el control y la prevención de la generación de estos contaminantes se debe llevar a cabo principalmente en las fuentes donde se generan, para ello, se plantea la segregación de corrientes de drenajes aceitosos que se producen en los procesos de refinación, canalizándolos a diferentes sistemas de recolección de acuerdo a su contenido de hidrocarburos, evitando con ello la dilución de los contaminantes, así como la generación de grandes volúmenes de aguas residuales aceitosas que presentan mayor dificultad de tratamiento. Como resultado de ello se tiene una mayor recuperación de hidrocarburos, los cuales se integran nuevamente a los procesos y obtienen un valor comercial, presentando un beneficio económico a la empresa.

I.1 CLASIFICACIÓN DE LAS CORRIENTES DE AGUAS RESIDUALES.¹

Las diversas corrientes de aguas residuales pueden dividirse en las siguientes categorías:

- Agua libre de hidrocarburos y material orgánico disuelto: en esta categoría quedan las purgas de calderas, las unidades de respaldo de agua de alimentación a las calderas, y el agua de lluvia de las áreas libres de hidrocarburos.
- Agua contaminada accidentalmente con hidrocarburos: esto es el agua que normalmente esta libre de hidrocarburos pero que los contiene después de un siniestro. Esto comprende el agua de lluvia del área de tanques, trayectorias de tubería y áreas de procesamiento libres de hidrocarburos, agua de enfriamiento de intercambiadores de calor, las purgas de los sistemas de recirculación de agua y el agua contra incendio.
- Agua continuamente contaminada con hidrocarburos pero no contaminada con otros materiales orgánicos solubles: esta corriente incluye el agua de lluvia de las áreas de proceso y del agua de lastre.
- Agua de proceso.
- Agua de servicios sanitarios y domésticos.

I.2 TIPOS Y CLASIFICACIÓN DE DRENAJES EN UNA REFINERÍA.²

En las instalaciones de los procesos de refinación es necesario contar con los sistemas de drenajes para la recolección, conducción y disposición de las aguas pluviales y residuales que se tienen como consecuencia de las actividades y operaciones que se realizan.

Se entiende por drenaje el sistema formado por el conjunto de tuberías, trincheras, cunetas, canales, válvulas y accesorios que sirven para recolectar y desalojar las aguas pluviales y aguas de desecho generadas en las instalaciones, incluye obras complementarias tales como cárcamos, colectores, fosas sépticas y registros, entre otros.

¹ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis; 1979, pág. II-12)

² (NRF-PEMEX-140-2005, 2005, pág. 6-19)

CAPÍTULO I.

En las instalaciones de los procesos de refinación, los drenajes se identifican y clasifican en cuatro tipos:

- Drenaje aceitoso: es el sistema que debe recolectar y desalojar todas las aguas no corrosivas que contienen hidrocarburos. Un ejemplo de éstos son las purgas y drenados de equipos de proceso, ya sea por mantenimiento u operación de los mismos.
- Drenaje pluvial: es el sistema que debe coleccionar y desalojar las aguas de lluvia, el agua de incendio captada en simulacros, así como todas aquellas aguas que NO contengan hidrocarburos, aguas negras y jabonosas, productos químicos, corrosivos o tóxicos, en éste caso podemos mencionar las provenientes de las calles y áreas administrativas.
- Drenaje químico: es el sistema que debe recaudar y desalojar las aguas residuales con contenidos de productos ácidos, alcalinos, corrosivos o tóxicos; sus materiales de construcción no deben ser afectados por estas sustancias y su diseño no debe permitir la generación de emanaciones que afecten la salud de los trabajadores y/o el medio ambiente. El drenaje químico se obtiene en áreas cuyos procesos utilizan productos químicos tales como el ácido fluorhídrico para las plantas de Alquilación, la sosa y el ácido sulfúrico para la planta generadora de los servicios auxiliares, y los diversos productos químicos que se utilizan en los laboratorios.
- Drenaje sanitario: es el sistema que debe coleccionar y desalojar las aguas negras, jabonosas y de servicios provenientes de lavabos, baños, muebles sanitarios y demás instalaciones similares. Este tipo de drenaje se presenta, por mencionar algunos, en áreas administrativas, talleres, almacenes, etc.

Ahora bien, las instalaciones se tienen clasificadas por áreas, y cada una debe contar con un sistema de drenajes de acuerdo a sus requerimientos³, como se muestra en la Tabla I:

³ (DG-GPASI-SI-2703, 1999, pág. 2-15)

CAPÍTULO I.

ÁREAS DE LAS INSTALACIONES	CLASIFICACIÓN DE DRENAJES.			
	Drenaje aceitoso	Drenaje pluvial	Drenaje sanitario	Drenaje químico
Áreas operativas	X	X	X	Si se requiere
Áreas de almacenamiento atmosférico	X	X		
Área de tanques de almacenamiento a presión		X		
Área de calderas	X	X		
Plantas de tratamiento de agua (desmineralización)			X	X
Área de torres de enfriamiento de agua	X	X	X	
Área de carga y descarga de productos	X	X		X
Talleres	Si se requiere	X	X	Si se requiere
Laboratorios	X		X	X
Estaciones de compresión o de generación eléctrica	X	X		
Áreas de pasos inferiores y trincheras para tuberías (ajenos a casas de bombas)		X		
Casas de bombas	X	X	X	
Áreas de muelles	X	X		

Tabla I. Clasificación de drenajes de acuerdo a las áreas de trabajo.

I.3 ORIGEN DE EMISIONES DE HIDROCARBUROS A DRENAJE ACEITOSO.⁴

Como se mencionó anteriormente, la contaminación del agua con hidrocarburos es debida a los diversos usos que tiene en las diferentes áreas, y en este caso, se van a considerar únicamente las fuentes de generación de drenaje aceitoso de acuerdo a lo indicado en la Tabla I:

- Áreas operativas (unidades de proceso).
- Áreas de almacenamiento atmosférico.
- Área de calderas.
- Área de torres de enfriamiento de agua.
- Área de Talleres.
- Área de Laboratorios.
- Estaciones de compresión o de generación de energía.
- Casas de bombas.
- Área de muelles.

I.3.1 Agua de enfriamiento.

Los procesos de refinación se efectúan a diferentes temperaturas para lograr la obtención de los productos deseados, por lo consiguiente, hay una gran cantidad de corrientes de hidrocarburos que tienen que llevar a cabo intercambios térmicos para lograr el enfriamiento necesario para su manejo. En muchas de las instalaciones, sobre todo las antiguas, este proceso se lleva a cabo mediante sistemas de agua de enfriamiento abiertos, en los cuales el agua utilizada es retornada a la fuente de suministro (ríos, presas, etc.), en estos casos el flujo de agua descargado puede ser aproximadamente mayor a los 30 m³/ton de crudo procesado, dependiendo de la complejidad del proceso de refinación que se lleve a cabo en las instalaciones. Cabe señalar que las instalaciones modernas tienen tendencia hacia los sistemas de enfriamiento por aire y a los sistemas de enfriamiento cerrados o de recirculación de agua de enfriamiento, disminuyendo así la descarga de la misma hasta 0.1 m³/ton de crudo procesado. En los sistemas cerrados, debido a la recirculación de agua de enfriamiento, se debe purgar una pequeña fracción del agua recirculada para prevenir la formación de sales. Esta agua contiene bajas concentraciones de acondicionadores químicos de agua tales como: inhibidores de corrosión, biocidas y dispersantes, y algunos productos corrosivos.

El agua de enfriamiento normalmente no está contaminada con hidrocarburos, a excepción de aquellos eventos en los cuales se tienen fugas de los

⁴ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis; 1979, pág. II-9)

CAPÍTULO I.

intercambiadores de calor. Estas fugas pueden ser ocasionadas por ruptura de tubos, o bien, por falla en el troquelado de los espejos con los tubos.

1.3.2 Agua residual de unidades de proceso y tanques de almacenamiento.

Esta agua ha estado en contacto directo con los hidrocarburos de las corrientes de proceso. Se origina del drenado de los tanques de almacenamiento de crudo y sus derivados, del vapor utilizado en destilación y unidades de conversión, de los tratamientos químicos acuosos o del agua de lavado para proceso del crudo y sus derivados. Esta corriente siempre es la que contiene la mayor cantidad de contaminantes en una refinería. Puede contener cantidades variables de hidrocarburos (ya sea disueltos, suspendidos o en emulsión), sales inorgánicas disueltas, y compuestos orgánicos disueltos (hidrocarburos ligeros, fenoles, tiofenos y otros productos oxigenados como ácidos orgánicos).

El crudo libera en las refinerías, por almacenamiento, su contenido de agua, que es entre 1.1% a 0.5%, esto es el remanente de agua eliminada incompleta, o el agua de mar, la cual contamina al crudo por contacto directo con los residuos del agua de lastre. Antes de ser procesado el crudo, es usualmente lavado con agua para eliminar las sales inorgánicas (unidades desaladoras), y se requiere entre el 3% y el 5% de agua.

Durante los procesos de destilación y de conversión, Fraccionamiento Catalítico, Hidrodesulfuración de naftas y de diesel, el agua también se introduce como vapor de arrastre para reducir la presión parcial de los hidrocarburos, produciéndose un condensado amargo, el cual contiene amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S), hidrocarburos y material orgánico soluble, tal como fenoles, mercaptanos y ácidos orgánicos. La práctica normal es agotar este condensado con vapor para reducir su concentración de ácido sulfhídrico (H_2S) por debajo de 20 ppm en peso, y para eliminar parte del amoníaco y las impurezas orgánicas volátiles.

1.3.3 Condensado aceitoso.

Las refinerías requieren grandes cantidades de vapor para proceso y para generación de energía. Después de la condensación del vapor en algunos procesos, se obtienen corrientes de condensados limpios que son regresados al tanque de almacenamiento para alimentación de la caldera, pero en otros casos, como se mencionó anteriormente, debido a que el vapor entra en contacto directo ó indirecto (como los rehervidores de las torres) con las corrientes de hidrocarburos, los condensados que se obtienen se denominan condensados aceitosos.

1.3.4 Agua de lastre.

Los buquetanques que suministran productos a las refinerías, usualmente descargan su agua de lastre que contiene hidrocarburos suspendidos, el cual puede ser desnatado en los tanques de recepción de producto. La contribución del agua de lastre al total del agua residual de la refinería puede ser insignificante para refinerías que están ubicadas tierra adentro, pero para las refinerías costeras, el movimiento de la mayoría de sus productos es por mar, y esta si es una cantidad significativa.

1.3.5 Agua de lluvia.

El agua de lluvia de las áreas pavimentadas en las unidades de proceso o en las estaciones de carga de productos, generalmente contiene cierta cantidad de hidrocarburos debido a los pequeños derrames de hidrocarburos que caen al suelo. El agua de lluvia de otras áreas tales como la de tanques, pueden ser contaminadas solamente en accidentes eventuales con derrames. El agua de lluvia de áreas sin instalaciones (no desarrolladas) esta libre de hidrocarburos.

1.4 CONTAMINANTES PRESENTES EN LOS EFLUENTES DE REFINERÍA.⁵

El agua residual de las refinerías de crudo contiene una gran cantidad de contaminantes. Los hidrocarburos son el principal contaminante y no solamente representa la mezcla compleja de hidrocarburos y otros compuestos orgánicos presentes en el petróleo, sino que también incluye aquellas sustancias producidas en el proceso de refinación, particularmente en las unidades de conversión. Típicos de este segundo grupo de contaminantes, son los compuestos fenólicos, los cuales son principalmente producidos en los procesos de cracking (ruptura de moléculas mayores) y particularmente en el cracking catalítico.

Algunos contaminantes no son inherentes a las operaciones de refinación de petróleo, pero pueden ser producto de aditivos utilizados para mezclados de productos, agentes acondicionadores de vapor y agua de enfriamiento, productos para la corrosión de los equipos, etc.

El número y el tipo de parámetros de contaminación a ser monitoreados, difieren de una ubicación a otra, pero la calidad de los efluentes puede generalmente ser determinada por monitoreo de:

⁵ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis, 1979, pág. II-12)

- Crudo / hidrocarburos.
- Demanda de oxígeno.
- Fenoles, sulfuros, (amoníaco).
- Materia suspendida.

Además de estos, también se pueden tener frecuentemente otras sustancias como los mercaptanos, cianuros, y sales inorgánicas, así como trazas de ciertos metales pesados.

1.4.1 Componentes del crudo.⁶

El crudo, siendo el origen de numerosos productos, es una mezcla compleja de sustancias que no pueden separarse por medios convencionales. Este contiene productos constituidos principalmente por los elementos carbono e hidrógeno, formando una amplia variedad de hidrocarburos, los cuales se pueden clasificar químicamente, en tres tipos de compuestos:

- Alcanos (n-parafinas e iso-parafinas).
- Cicloalcanos (cicloparafinas o naftenos).
- Compuestos aromáticos.

Aún cuando en esta clasificación no se incluyen por su contenido despreciable en el crudo, también se deben tener presentes las olefinas.

El crudo también contiene compuestos de azufre, fenoles, metales pesados y compuestos de nitrógeno.

A continuación se indican algunas propiedades de estos compuestos, pero principalmente, se considera muy importante la solubilidad de estos en el agua, debido a que este trabajo está enfocado a los drenajes aceitosos, como se ha mencionado, son producto del contacto directo o indirecto de los hidrocarburos con el agua.

1.4.1.1 Alcanos.

Este grupo de n-parafinas e iso-parafinas, comprende numerosos compuestos particulares, fundamentados en la capacidad de los átomos de carbono para unirse y formar enlaces, así como en la posibilidad de la formación de isómeros estructurales.

⁶ (R.H. Jenkis, Dr. L. Huber, 1979, pág. IV-88 a IV-100)

CAPÍTULO I.

Los alcanos son sustancias incoloras, y los líquidos de bajo punto de ebullición son representativos del olor típico de las gasolinas o querosinas. Los de mayor punto de ebullición, líquidos aceitosos espesos y compuestos sólidos, son casi inodoros. Debido a su naturaleza no polar, son escasamente solubles o miscibles con compuestos polares (hidrofóbicos), sin embargo muestran buena miscibilidad en todas las proporciones con solventes orgánicos (oleofílicos o lipofílicos). A condiciones normales, debajo de C₄ son gaseosos, de C₅ a C₁₆ son líquidos y del C₁₇ en adelante son sólidos.

La solubilidad de las n-parafinas en agua muestran un decremento conforme la cadena de carbono va aumentando, y es más alta la solubilidad para los compuestos ramificados (iso-, sec, ter, neo) que para los compuestos de cadenas lineales, como se muestra en la Tabla II:

Compuesto	Solubilidad en agua (mg / l a 25°C)
Butano	61.4
Pentano	38.5
Isopentano	47.8
Hexano	9.5
2-metilpentano	13.8
Heptano	2.93
2,4-dimetilpentano	4.06
Octano	0.66
2,2,4-trimetilpentano	2.44
Decano	0.052
Dodecano	0.0018
Tetradecano	0.0022
Octadecano	0.0021

Tabla II. Solubilidad en agua de algunos alcanos.

1.4.1.2 Cicloalcanos.

Los cicloalcanos también son llamados hidrocarburos saturados, de los cuales, el petróleo contiene principalmente ciclohexano, metil-ciclohexano, metil-ciclopentano y 1,2-dimetilciclopentano. Su solubilidad en agua, de la misma forma que para los alcanos, muestra decremento conforme aumenta la cadena de carbonos, pero es más alta en los componentes cíclicos que para los correspondientes en número de carbonos pero de cadenas lineales, ejemplo de esto se tiene en la Tabla III:

Compuesto	Solubilidad en agua (mg / l a 25°C)
Ciclopentano	156.0
Ciclohexano	55.0
Cicloheptano	29.6
Ciclo octano	7.9
Metilciclopentano	42.6
Metilciclohexano	14.0
1,2-dimetilciclohexano	6.1

Tabla III. Solubilidad en agua de algunos cicloalcanos.***1.4.1.3 Olefinas.***

La presencia de olefinas en el crudo es despreciable, pero éstas aparecen en varios procesos de refinación, por ejemplo la reformación o el cracking catalítico (ruptura de moléculas mayores), en cierto modo, se obtienen como productos secundarios, pero también como compuestos deseados, ya que éstas son adicionadas a otros productos como componentes de mezclas, o como materia prima para otras reacciones de síntesis. Las olefinas se clasifican químicamente en hidrocarburos alifáticos, alicíclicos y aromáticos alifáticos, los cuales tienen uno o más enlaces dobles.

La solubilidad de las olefinas es mayor que la presentada por las parafinas, y esta se incrementa con la ramificación de la cadena de carbonos como se observa en la Tabla IV.

Compuesto	Solubilidad en agua (mg / l a 25°C)
Etileno	130
Propileno	206
1-butileno	231
2-metilpropileno	240
1-penteno	164
2-penteno	212
3-metil-1-butileno	139
1-hexeno	50
2-metil-1-penteno	77
4-metil-1-penteno	48
2-hepteno	15
1-octeno	2.4

Tabla IV. Solubilidad de algunas olefinas.

1.4.1.4 Compuestos aromáticos.

Los compuestos aromáticos están presentes en mayor cantidad para cierto tipo de petróleo, de tal forma que algunos crudos pueden comercializarse como “ricos en aromáticos”. De los aromáticos polinucleares, los naftalenos son los más abundantes, especialmente el 2-metilnaftaleno y el 1-metilnaftaleno. Las fracciones de crudo de altos puntos de ebullición, también contienen fenantreno, 2-metilfenantreno, antraceno, criseno, perileno y benzopireno.

De los hidrocarburos, los aromáticos tienen las más altas solubilidades en agua, relativamente, lo cual es muy importante si se tiene presente que también son los más tóxicos. En la Tabla V se muestra la solubilidad de algunos aromáticos en agua.

Compuesto	Solubilidad en agua (mg / l a 25°C)
Benceno	1780
Tolueno	538
Orto-xileno	175
Etilbenceno	159
1,2,4-trimetilbenceno	57
Isopropilbenceno	53
Naftaleno	31.3
1-metilnaftaleno	25.8
Fenantreno	1.6
Antraceno	0.075
Pireno	0.75
Fluorantreno	0.265
Criseno	0.006
Naftaceno	0.0015

Tabla V. Solubilidad en agua de algunos compuestos aromáticos.

1.4.1.5 Fenoles.

El contenido de fenoles en los diversos tipos de crudos en general es muy bajo, sin embargo, se han encontrado concentraciones de miles de partes por millón en los productos de las refinerías, especialmente en aquellos que provienen de los procesos de cracking catalítico. Los fenoles, son compuestos hidroxilos, en los cuales uno o más de estos grupos hidroxilos están enlazados con anillos aromáticos. Un fenol es un alcohol aromático.

Los fenoles se disuelven en álcalis formando fenolatos, por lo que esta reacción se utiliza para su separación de otros compuestos de hidrocarburos, y pueden ser precipitados de la solución alcalina por medio del uso de ácidos.

Entre estos compuestos se tienen: el fenol, orto-cresol, meta-cresol, para-cresol, orto-clorofenol, p-clorofenol, hidroquinona, etc.

De este grupo de compuestos, el monohidroxibenceno (fenol), es miscible con el agua en cualquier proporción a temperaturas cercanas de 65°C, debajo de esta temperatura, se forman dos capas, una rica en fenol y la otra de agua con fenol.

CAPÍTULO I.

La solubilidad en agua disminuye rápidamente, desde el fenol, al cresol y xilenol a los alquilfenoles (alcoholes grasos). Debido a sus grupos hidroxilos, los fenoles dihidroxilados tienen muy buena solubilidad en agua, siendo la hidroquinona la que tiene la más baja solubilidad comparada con el catecol y el resorcinol. Los fenoles dihidroxilados son menos solubles en hidrocarburos que los fenoles monohidroxilados. En la Tabla VI se muestra la solubilidad en agua de algunos fenoles.

Compuesto	Solubilidad en agua (g / l)	T de solubilidad (°C)
Fenol	70	
O-cresol	25	25
M-cresol	24	25
P-cresol	19	25
O-clorofenol	28.5	20
P-clorofenol	27	20
O-nitrofenol	2	
M-nitrofenol	13.5	
O-aminofenol	20	
Hidroquinona	70	25
Catecol	430	20
Resorcinol	1230	20
Pirogalol	590	20

Tabla VI. Solubilidad en agua de algunos compuestos fenólicos.

1.4.1.6 Compuestos con azufre.

Después de los hidrocarburos, los compuestos con azufre son los que ocupan el segundo lugar en abundancia como componente del petróleo.

Adicional al sulfuro de hidrógeno y al azufre elemental, los mercaptanos, tioéteres, disulfitos, y benzotiofenos aparecen principalmente en las fracciones de altos puntos de ebullición y en los residuos de la destilación, por lo cual, algunas de las unidades de proceso, funcionan para la conversión y eliminación de estos compuestos. En las aguas residuales de una refinería, se presentan predominantemente los sulfitos y el sulfuro de hidrógeno.

El sulfuro de hidrógeno es incoloro, es un gas altamente venenoso y muy distintivo por su olor característico, su solubilidad en agua es 437 g/100 ml a 0°C y 186 g/100 ml a 40°C. Los hidrosulfitos se disuelven rápidamente en agua, pero de los

CAPÍTULO I.

sulfitos, solamente los sulfitos alcalinos se disuelven en agua experimentando hidrólisis.

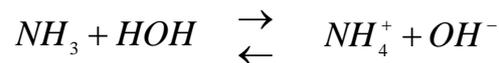
De los compuestos orgánicos sulfurados, los mercaptanos son insolubles en agua, pero si son solubles en álcalis.

1.4.1.7 Compuestos con nitrógeno.

De los diversos procesos de refinación, el amoníaco se obtiene generalmente en proporción con el sulfuro de hidrógeno, estos están presentes en equilibrio.

El amoníaco es un gas incoloro con un olor irritante característico, su solubilidad en frío es casi de 90 g/100 ml.

El equilibrio del amoníaco –amonio:



es dependiente del valor del pH, por lo que este parámetro es fundamental para determinar la toxicidad por contenido del ión amonio.

1.4.1.8 Metales pesados.

La importancia de los metales pesados respecto al ambiente es debida a que algunos son tóxicos y pueden ser acumulativos a través de los mecanismos de la cadena alimenticia.

Algunos metales pesados que se presentan en las aguas de las refinerías, pueden tener su origen:

- En el crudo (níquel y vanadio).
- En el agua cruda y en los químicos utilizados para producir vapor y agua de enfriamiento (fierro, manganeso).
- En los químicos utilizados para acondicionamiento de agua de enfriamiento (zinc, cromo).
- En las pérdidas de catalizadores de proceso (cobre, cobalto).
- En la corrosión producida en los equipos de proceso (fierro, cromo, cobre, níquel).

El contenido de metales en el crudo varía considerablemente, ya que depende del origen del mismo, el contenido total generalmente no excede el 0.05% en peso, sin embargo, el vanadio y el níquel se muestran en cantidades predominantes, el contenido de vanadio en algunos crudos alcanza hasta 1,200 mg/kg.

Los compuestos que contienen metales pesados tienen altos puntos de ebullición, por lo tanto tienen tendencia a concentrarse en los productos residuales, tales como el residuo de vacío. Si se presentan metales en las aguas residuales de la refinería, es debido a que se encuentran ligados a los sulfitos, de baja solubilidad, u otros sólidos, los cuales pueden ser separados. Por su contenido en los efluentes de refinerías, con concentraciones entre 0.5 y 1000 ppb (excepto el hierro), los metales pesados no se consideran como contribuyentes al impacto ambiental de las refinerías.

1.4.2 Demanda de oxígeno.⁷

La demanda de oxígeno de un efluente, nos da una idea de la fuerza del efluente en términos del oxígeno, impuesta en un cuerpo receptor de agua. En las aguas residuales de una refinería, los principales contaminantes que ejercen una demanda de oxígeno, son los compuestos orgánicos disueltos, sales de amonio y sulfuros. En los análisis de demanda de oxígeno, las sustancias en estado reducido presentes en el agua, son oxidadas por consiguiente ya sea por reacciones bioquímicas (DBO), reacciones químicas (DQO) o por combustión (COT).

1.4.3 Materia suspendida.

Está constituida de los sólidos que se encuentran en suspensión y pueden ser separados del efluente por medios físicos o mecánicos. Los sólidos suspendidos se dividen en sólidos sedimentables y sólidos coloidales.

Los sólidos sedimentables son la porción de los sólidos suspendidos cuyo peso y tamaño es suficiente para que sedimenten en un tiempo determinado; mientras que los sólidos coloidales por su tamaño tan pequeño, no son susceptibles de precipitar a menos que se consiga que aumenten su tamaño y masa (coagulación-floculación).

⁷ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis, 1979, pág. II-15), (J.S. Sámano; 2005,apuntes)

1.4.4 El comportamiento de los hidrocarburos en agua.⁸

Cuando los hidrocarburos están en contacto con agua, este flota y es sujeto de un número de procesos simultáneos: parte de este se puede disolver, mucho de este se esparce en la superficie donde la fracción volátil puede evaporarse y se pueden formar las emulsiones hidrocarburo-agua; la degradación biológica y la oxidación fotoquímica también pueden tener lugar y entonces alterar las características originales.

Algunos de estos procesos han sido estudiados utilizando sustancias puras en contacto con agua, ampliando las conclusiones de tales estudios de los hidrocarburos, por lo que se puede generalizar lo siguiente:

Los hidrocarburos de alto peso molecular, están presentes en mayor proporción en el crudo y son prácticamente insolubles en agua, además tienen menor gravedad específica que el agua. La dispersión de hidrocarburos en agua, puede ser separada rápidamente en dos etapas, a menos que se formen emulsiones estables de hidrocarburos-agua. Este fenómeno ocurre generalmente como resultado de una gran turbulencia, el hidrocarburo se presenta en forma de pequeñas gotas, las cuales no coalescen en gotas más grandes debido a la presencia de un agente tensoactivo o cargas eléctricas en la interfase. Además, debido a su alto punto de ebullición de los componentes del crudo, se presenta una baja velocidad de evaporación y cuando éstos se encuentran como contaminantes en el agua, los procesos de biodegradación se llevan a cabo lentamente porque estas moléculas grandes no son metabolizadas rápidamente y los microorganismos pueden crecer solamente en el límite de la superficie interfacial hidrocarburo-agua. La función de los microorganismos es utilizar los hidrocarburos como única fuente de carbono y energía.

De los hidrocarburos de bajo peso molecular, algunos son hasta cierto punto solubles en agua (ejemplos: n-hexano 9 mg/l, n-octano 0.7 mg/l), lo cual es particularmente cierto para los aromáticos (ejemplos: benceno 1.8 g/l, naftaleno 30 mg/l). En una solución acuosa saturada con algunos de estos hidrocarburos, pueden resultar tóxicos para los microorganismos, esto debido a que probablemente los mismos compuestos orgánicos pueden disolver las membranas celulares de las bacterias.

Asimismo, en los sistemas agua-hidrocarburos, la concentración de estas sustancias en el agua es extremadamente baja (considerablemente por debajo de la saturación) debido a que son más solubles en los hidrocarburos que en agua.

Los hidrocarburos de bajo peso molecular son bastante volátiles. A temperatura ambiente pueden evaporarse de la superficie del agua a una velocidad apreciable. Algunas pruebas han mostrado que el crudo pierde en veinticuatro horas

⁸ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis, 1979, pág. II-7 a II-9).

CAPÍTULO I.

esencialmente todos los ligeros con puntos de ebullición menores al punto de ebullición del C₁₂ (216°C), mientras que los compuestos entre C₁₂ y C₁₅ (270°C) requieren veinte días adicionales para evaporarse. La última fracción es más propensa a biodegradación; ambos mecanismos remueven los componentes ligeros del crudo, y como resultado, el residuo aumenta en densidad.

La fotoxidación puede también contribuir a la eliminación del crudo, este mecanismo es probablemente más rápido que la biodegradación para la remoción de las partes no disueltas de hidrocarburo flotante en la superficie.

La fotoxidación es el proceso que se lleva a cabo por medio de reacciones químicas provocadas por la luz natural en presencia del oxígeno (fotólisis), originando la oxidación de las fracciones líquidas o sólidas de los hidrocarburos, por lo tanto, depende del contacto del agua contaminada con hidrocarburos con el medio ambiente.

CAPÍTULO II.

II.1 ESTRUCTURA CONVENCIONAL DE UN DRENAJE EN ÁREAS DE PROCESO DE REFINACIÓN.¹

Generalmente hablando, las refinerías antiguas no se diseñaron considerando la economía del recurso del agua ni su tratamiento, ya que lo más importante era la obtención de los productos derivados del procesamiento del crudo, por lo tanto, en dichas instalaciones, los consumos de agua son altos, y las corrientes de aguas residuales generadas, también eran mezcladas frecuentemente en sistemas de drenajes combinados, como son:

- Las aguas provenientes de los servicios sanitarios, como son las aguas jabonosas y las de los sanitarios, se mezclan y se tratan en fosas sépticas.
- El drenaje químico se maneja de manera independiente hasta su integración en las corrientes de descarga a cuerpos receptores.
- El drenaje pluvial y el drenaje aceitoso se mezclan originando dilución de contaminantes y mayor problemática de separación.

Este último punto, objeto de estudio de este trabajo, se muestra a detalle en la Figura 1, la cual, de manera general representa un área de proceso, en la que se tiene el drenaje aceitoso, que colecta los efluentes ocasionados por fugas o lavados de equipos, contaminados con hidrocarburos. El destino de este drenaje es una fosa preseparadora, en la cual se lleva a cabo la separación por decantación del agua e hidrocarburos, los cuales se envían a tanques de recuperado.

Se tiene un sistema de vaciado de equipos, para proporcionar mantenimiento a estos, y el destino de sus efluentes esta integrado en la fosa preseparadora en el colector de hidrocarburos (esclusa de aceite).

Además cuenta con drenaje pluvial-aceitoso, el cual colecta el agua de lluvia contaminada de hidrocarburos derramados en el piso de la planta.

El agua aceitosa obtenida de la fosa preseparadora, se envía a un cabezal de recolección de drenaje, cuyo destino es el Separador API de la Refinería, pero además se puede observar, que el drenaje pluvial aceitoso también es enviado a dicho cabezal, dando origen a lo que mencionamos anteriormente: mayor volumen de aguas aceitosas con dilución de contaminantes.

¹ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis, 1979, pág. II-23).

CAPÍTULO II.

Esto origina tener mayor número de sistemas de tratamiento para llevar a cabo la separación del hidrocarburo contenido en el efluente del drenaje aceitoso, además, incorporar el drenaje pluvial al drenaje aceitoso, provoca que los contaminantes, principalmente hidrocarburos, sean diluidos generándose dificultades mayores en los procesos de separación.

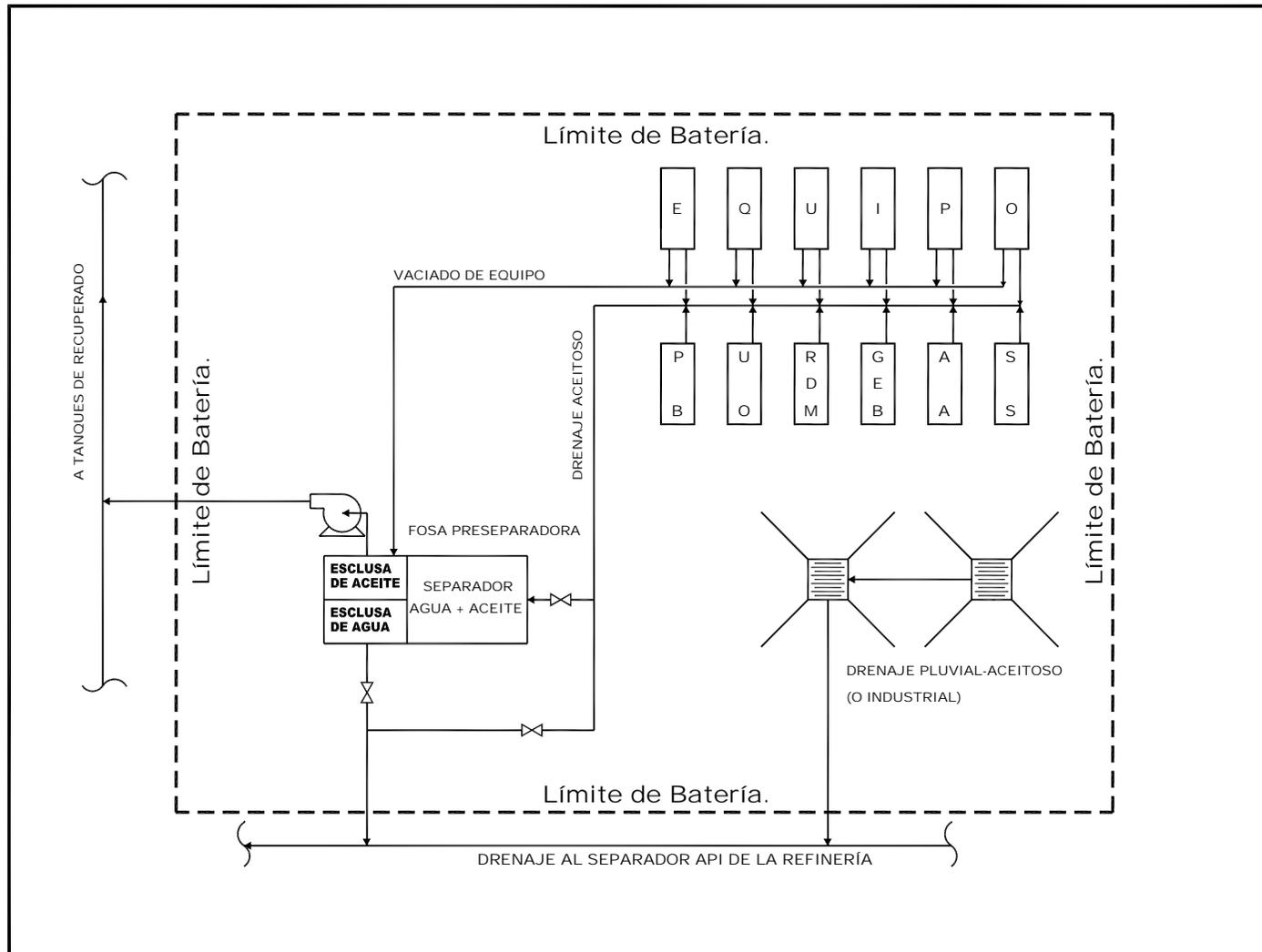


Figura 1. Estructura típica de drenaje aceitoso y pluvial aceitoso en áreas de proceso de Refinación.

II.2 TRATAMIENTO DE EFLUENTES.²

Los procesos de tratamiento de aguas residuales pueden ser usados independientes o en combinación para eliminar los hidrocarburos y otros contaminantes de las aguas residuales antes de ser descargadas por las refinerías.

Para propósito de este trabajo y debido a que no existe una clasificación única de los tratamientos de efluentes, se propone la siguiente clasificación:

Clasificación	Operaciones Unitarias o procesos
Pretratamiento	<ul style="list-style-type: none">➤ Cribado.➤ Filtración.➤ Neutralización.➤ Sedimentación.➤ Separación de grasas y aceites.
Tratamiento Primario	<ul style="list-style-type: none">➤ Clarificación primaria.
Tratamiento Secundario	<ul style="list-style-type: none">➤ Biodiscos.➤ Lodos Activados.➤ Torres percoladoras.➤ Lagunas de estabilización.➤ Lagunas de oxidación.➤ Reactores biológicos.
Tratamiento Terciario	<ul style="list-style-type: none">➤ Ósmosis Inversa.➤ Ozonización.➤ Cloración.➤ Evaporación.➤ Destilación.➤ Electrodialisis.➤ Rayos Ultravioleta.

² (P.K. Chown, 2004, pág. 4).

CAPÍTULO II.

II.2.1 Definición y selección de tratamientos.³

Entiéndase por tratamiento de efluentes, el conjunto de operaciones y procesos unitarios para llevar a cabo un acondicionamiento del efluente por medio de la separación o eliminación de los contaminantes contenidos en éste.

Ahora bien, para realizar la selección de los tratamientos que se aplicarán a los efluentes, se deben tomar en cuenta principalmente los siguientes aspectos:

- Las diferentes fuentes de origen de las aguas residuales.
- La disposición final que tendrá el efluente tratado.

Una guía del rango de contaminantes presentes en algunas corrientes típicas de efluentes de los drenajes aceitosos, se da en la Tabla VII. En una refinería normal, ciertas corrientes de agua, las cuales contienen altas cantidades de gases amargos (principalmente ácido sulfhídrico y amoníaco) son agotadas para bajar la concentración de los gases antes de descargarlos a la planta de tratamiento de efluentes.⁴

FUENTES	CONTAMINANTES TÍPICOS						
	Hidrocarburos	H ₂ S (RSH)	NH ₃ NH ₄ ⁺	Fenoles	Materia orgánica	CN (CNS)	SST
Unidades de destilación	XX	XX	XX	X	XX	-	XX
Hidrotratamiento	XX	XX (X)	XX (X)	-	X (X)	-	-
Cracking catalítico	XX	XXX	XXX	XX	XX	X	X
Hidrocracking	XX	XXX	XXX	-	X	-	-
Lubricantes	XX	X	X	-	XX		
Sosa gastada	XX	XX	-	XXX	XXX	X	X
Servicios (lluvia)	X (-)	-	-	-	X	-	-
Servicios Sanitarios/ Domésticos	-	-	X	-	X	-	XX

Tabla VII. Contaminantes típicos de un efluente de drenaje aceitoso.

X = < 50 mg/l;
 XX = 50 - 500 mg/l;
 XXX = > 500 mg/l

³ (F.Berné, 1995, pág. 56-58).

⁴ (E.Martin, 1999, pág. III-3).

CAPÍTULO II.

Como se puede observar en la Tabla VII, los hidrocarburos están presentes en casi todas las fuentes emisoras de efluentes que son enviados al drenaje aceitoso.

Los hidrocarburos se encuentran presentes en los efluentes en muy diferentes formas que son difíciles de caracterizar analíticamente. Las cuatro formas que se mencionan abajo son motivo de atención para establecer el tratamiento⁵ adecuado:

- Hidrocarburo libre.
 - Emulsiones mecánicas primarias y secundarias.
 - Emulsiones químicas.
 - Hidrocarburos en solución.
- a) El hidrocarburo libre es aquel que no se disuelve en el agua y flota formando una película en los colectores de drenajes o se conducen a lo largo de la tubería.
 - b) El hidrocarburo denominado emulsión mecánica primaria presenta un tamaño de gota de pocas docenas de micrómetros, cuando reposa tiene una estabilidad limitada a unas pocas horas y posteriormente se separa del agua.
 - c) El hidrocarburo denominado como emulsión mecánica secundaria es indefinidamente estable debido al tamaño submicrométrico de las partículas, similar a los coloides, por lo que no presenta separación de agua.
 - d) Hidrocarburos en emulsión química donde un tercer agente contaminante (jabón, sosa, sodio, detergentes) o la naturaleza de los hidrocarburos (compuestos asfálticos) modifican la tensión superficial y químicamente estabilizan su dispersión en el agua.
 - e) Hidrocarburos en solución: estos son los hidrocarburos que se encuentran solubilizados en el agua, debido a que presentan cierto grado de solubilidad en la misma, como ejemplo de estos tenemos los aromáticos.

Además, los hidrocarburos insolubles forman una película que cubre los sólidos suspendidos, este efecto puede modificar considerablemente la capacidad de sedimentación o de flotación de los sólidos suspendidos, debido a la formación de sólidos sedimentables o de sólidos coloidales (agregados no sedimentables).

También se tienen hidrocarburos que son más resistentes a la biodegradación, como algunos aromáticos (hidrocarburos aromáticos policíclicos), y éstos se pueden clasificar como otra categoría, la cual se trata por medio de procesos de agotamiento con vapor para altas concentraciones y percolación con carbón activado granulado (GAC) para bajas concentraciones.

⁵ (F.Berné, 1995, pág. 56-58).

II.2.2 Etapas generales en el tratamiento de efluentes de los drenajes aceitosos.

De acuerdo a lo visto en el punto II.2.1, y a las diversas formas en que se presentan los hidrocarburos en los efluentes del drenaje aceitoso, a continuación se hace una descripción de las etapas generales en el tratamiento de efluentes, por medio de las cuales se realiza la eliminación de hidrocarburos contenidos en los mismos.

- **Pretratamiento:** en esta etapa se lleva a cabo la eliminación de los contaminantes en suspensión como son los sólidos suspendidos granulares (arenas, grava fina), los hidrocarburos libres y parcialmente los hidrocarburos que se encuentran en emulsiones mecánicas (primarias).
- **Tratamiento primario:** en esta etapa se eliminan los sólidos finos (arcillas, cenizas, los sólidos producto de la corrosión), además de la remoción de hidrocarburos en emulsiones mecánicas y químicas.
- **Tratamiento secundario:** es la eliminación de los hidrocarburos biodegradables que se encuentran disueltos en el agua, por ejemplo los compuestos oxigenados (ácidos, aldehídos, fenoles, solventes), compuestos de azufre como $S_2O_3^{2-}$, hidrocarburos aromáticos, en parte, y amoníaco (NH_4) (nitrificación/desnitrificación).
- **Tratamiento terciario:** el nombre de esta etapa esta dado por analogía con la etapa de tratamiento de las aguas municipales residuales, y es el tratamiento que sigue del tratamiento biológico secundario. Aquí, uno de los propósitos es la remoción del fósforo (P). Tanto en la refinación como en la petroquímica, esta etapa se ha incrementado debido a la necesidad del cumplimiento en las descargas de aguas residuales o a la recirculación de la misma. El tratamiento terciario frecuentemente procede como sigue:
 - Mejoramiento en la clarificación y remoción de fosfatos.
 - Mejoramiento en la remoción de fenoles.
 - Reducción en los aromáticos y en la demanda química de oxígeno (DQO).

Cabe señalar que, en la mayoría de las refinerías de la empresa paraestatal PEMEX, solo se cuenta con el pretratamiento y tratamiento primario de efluentes como parte de sus instalaciones, por lo que a continuación se hace una revisión un poco más detallada de el mismo.

II.2.3 Pretratamiento y Tratamiento Primario.

La selección de un proceso de tratamiento de aguas residuales o la serie de procesos de tratamientos, dependen de varios factores que son:⁶

- Características del agua residual: DBO (demanda bioquímica de oxígeno), materia en suspensión, pH, productos tóxicos.
- Calidad del efluente (requerida).
- Costo y disponibilidad de terrenos.
- Consideraciones futuras (ampliaciones, cambios en calidad del efluente, etc.).

Los pretratamientos de aguas residuales implican la reducción de sólidos en suspensión o el acondicionamiento de las aguas residuales para su descarga ya sea a los cuerpos receptores o al tratamiento secundario.

Los tipos fundamentales de tratamientos primarios son:

- Cribado o desbrozo.
- Sedimentación.
- Flotación.
- Neutralización y homogenización.
- Clarificación.

II.2.3.1 Cribado.

Se emplea para reducir los sólidos en suspensión de diversos tamaños, utilizando unas rejillas o cribas, cuyas características son:

- ❖ Las rejillas o cribas para finos tienen aberturas que van desde los 5 mm o menos, se utilizan muchas veces en lugar de tanques de sedimentación, sin embargo, con las rejillas se elimina de un 5% a 25%, mientras que con el tanque de sedimentación se elimina de un 40% a 60% de los sólidos en suspensión, el problema que se presenta es el atascamiento y la eliminación de sólidos.
- ❖ Las rejillas o cribas para gruesos tienen aberturas que van desde 4, 8 y 9 cm, y son elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen los equipos.

⁶ (R.S. Ramalho, pág. 91-203)

CAPÍTULO II.

Se pueden utilizar también trituradoras en lugar de las rejillas de gruesos, y el sólido resultante se elimina por sedimentación.

II.2.3.2 Sedimentación.

La sedimentación es para separar los sólidos en suspensión; 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. La eliminación puede producirse en una o varias etapas o en varios puntos del proceso del tratamiento.

Se consideran diferentes tipos de mecanismo o procesos de sedimentación de acuerdo al tipo de sólidos presentes en la suspensión.

- ❖ Tipo I o sedimentación discreta.
- ❖ Tipo II.
- ❖ Tipo III o sedimentación por zonas.
- ❖ Tipo IV o sedimentación de compresión.

II.2.3.2.1 Sedimentación Tipo I o discreta.

Es el asentamiento de partículas con una trayectoria definida, las partículas se desplazan como unidades aisladas, no cambian sus propiedades físicas (tamaño, peso específico, forma) durante el desplazamiento. Este tipo de sedimentación se presenta en sistemas con baja concentración de partículas, como en los desarenadores.

II.2.3.2.2 Sedimentación Tipo II.

Es el asentamiento de partículas que no siguen una trayectoria definida, las partículas se desplazan interactuando unas con otras, su forma y tamaño cambian durante el desplazamiento. Este tipo de sedimentación se presenta en sistemas de concentración media de partículas, como es el caso de los sedimentadores primarios.

II.2.3.2.3 Sedimentación Tipo III o por zonas.

Es el asentamiento de partículas de sistemas de concentración intermedia, en este caso, las partículas se encuentran tan cerca unas a otras que las fuerzas intermoleculares provocan el arrastre de las partículas más próximas. Las partículas permanecen en una posición relativamente fija con respecto a las demás, y todas se sedimentan a una velocidad constante, el resultado es que la masa de las partículas se sedimenta como una zona, tal es el caso de los sedimentadores después de un tratamiento biológico.

II.2.3.2.4 Sedimentación Tipo IV o por compresión.

Es el asentamiento de partículas de sistemas con alta concentración, las partículas se encuentran tan juntas unas de otras que se arrastran y se detienen por el peso de las partículas que se encuentran sobre de ellas, de tal manera que se compactan.

II.2.3.3 Equipos separadores.

Para llevar a cabo el tratamiento primario se tienen los separadores, los cuales proveen un medio en el cual los sólidos suspendidos pueden sedimentarse al mismo tiempo que se lleva a cabo la separación de los hidrocarburos contenidos en el influente. En esta etapa se recupera gran cantidad de hidrocarburos contenidos en la corriente de agua residual aceitosa, y estos son colectados y reciclados a las unidades de proceso. De las instalaciones que se requieren para llevar a cabo el tratamiento primario, se consideran principalmente:

- Separadores API.
- Separadores de placas paralelas.
- Separadores de placas corrugadas.

II.2.3.3.1 Separador API (American Petroleum Institute).⁷

Un separador API es la forma más simple de un separador, la cámara de separación consiste simplemente de un estanque rectangular abierto. Los separadores API que se encuentran en refinerías, constan de una sección de

⁷ (E:Martin, 1999, pág. III-5,6)

CAPÍTULO II.

entrada y de cámaras de separación hidrocarburos-agua. El canal de acceso y la parte de transición son construidas usualmente en arreglos de dos bahías para facilitar su limpieza y mantenimiento cuando sea requerido. Se pueden instalar sistemas de remoción de sedimentos para mover lentamente el lodo a la fosa colectora de lodos, y el hidrocarburo es retirado por medio de desnatadores. Se les puede instalar cubiertas para reducir los olores y las emisiones de compuestos orgánicos volátiles (VOC's) a la atmósfera.

La principal ventaja de un separador API es que puede retener grandes cantidades de hidrocarburos libres y de sólidos. Este factor ayuda a mejorar el funcionamiento de las etapas consecutivas corriente abajo. Sus principales desventajas son:

- Requiere un área grande de terreno.
- Solamente puede eliminar comparativamente, gotas grandes de hidrocarburos.

En la Figura 2, se muestra de manera general un separador API con algunos componentes y las secciones que lo constituyen.

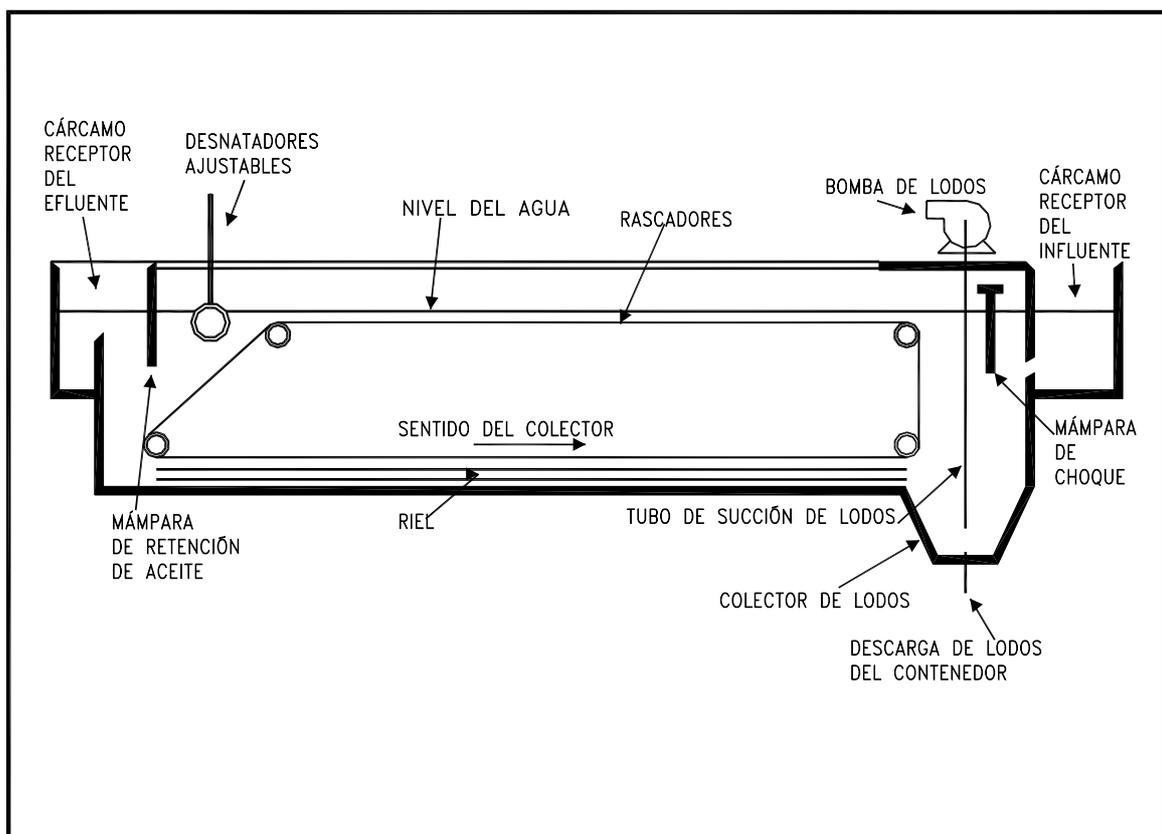


Figura 2. Separador API (American Petroleum Institute).

II.2.3.3.2 Separador de placas paralelas.

El separador de placas paralelas, es un separador por gravedad equipado con placas paralelas a la corriente para provocar el flujo laminar y reducir la distancia de separación. Dentro de un separador de placas paralelas, el área superficial de las placas es significativamente mayor que el área superficial de un separador API convencional, dando como resultado que ocupe un área de terreno más pequeña que el separador convencional. La principal desventaja es que las placas son susceptibles de ensuciarse y como consecuencia se incrementa el requerimiento del mantenimiento.

En la Figura 3, se muestra un ejemplo de los tipos de separadores de placas paralelas.

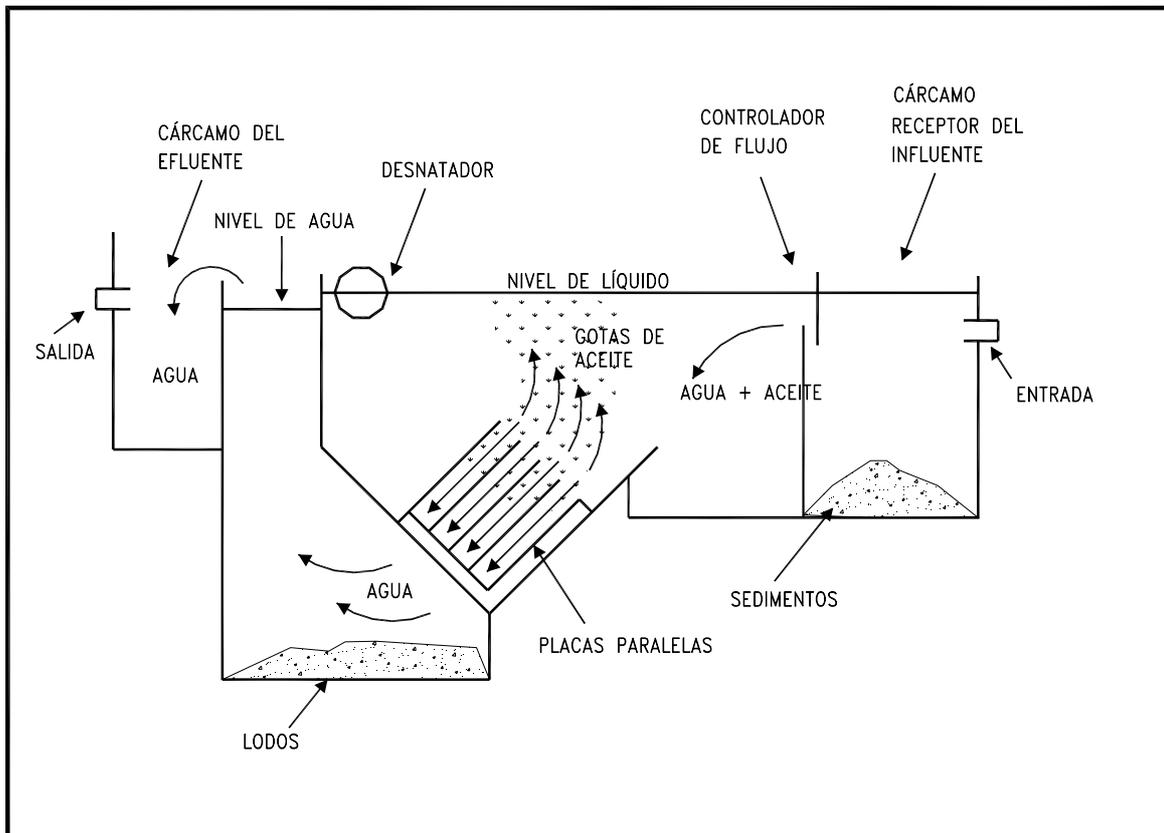


Figura 3. Separador de placas paralelas.

II.2.3.3 Separador de placas corrugadas.

En el separador de placas corrugadas, los paquetes de placas corrugadas diseñados especialmente, son ubicados a contra corriente del flujo, es decir, el efluente fluye en dirección inclinada mientras que el hidrocarburo fluye hacia arriba a la superficie. Las ventajas que presenta son:

- Área superficial más pequeña.
- Mayor eficiencia que los equipos API y los separadores de placas paralelas, ya que puede hacer la remoción de gotas más pequeñas.

Las desventajas son las mismas que para el separador de placas paralelas, susceptibilidad de ensuciamiento y el consecuente incremento de mantenimiento. El separador de placas corrugadas es particularmente apropiado para su instalación en forma individual en áreas de proceso, tan cerca como sea posible al punto de generación de agua residual. En estas circunstancias, hay menos probabilidad de ensuciamiento, el hidrocarburo puede ser reciclado directamente a la unidad, y la carga en la planta de tratamiento de efluentes es reducida. En la Figura 4, se muestra un separador de placas corrugadas.

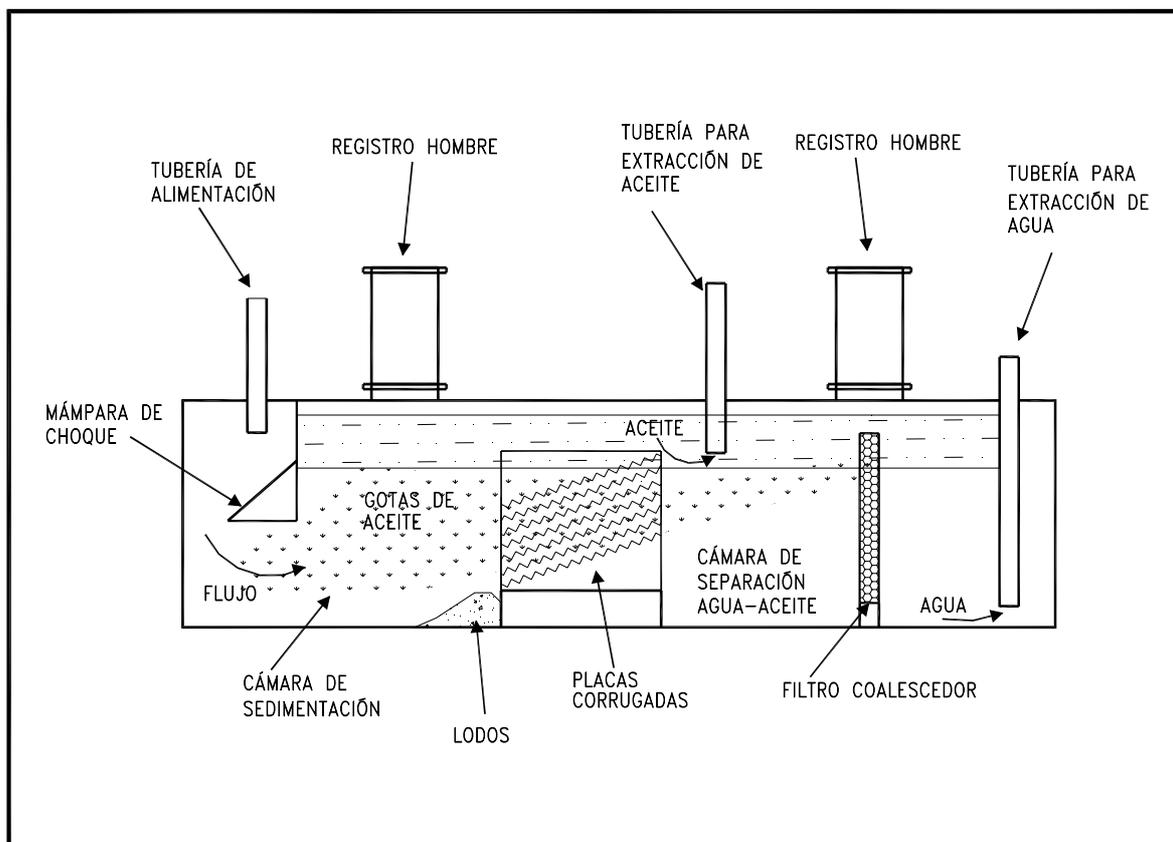


Figura 4. Separador de placas corrugadas.

II.2.3.4 Flotación.⁸

La flotación es un proceso para separar sólidos de baja densidad o partículas líquidas de una fase líquida. El proceso se realiza introduciendo gas (normalmente aire) en la fase líquida en forma de burbujas. La fase líquida se presuriza para alcanzar una presión de funcionamiento entre dos y cuatro atmósferas, en presencia de suficiente aire para saturar el agua de aire; después el líquido saturado se despresuriza hasta la presión atmosférica por medio del paso a través de una válvula reductora de presión, formándose pequeñas burbujas de aire que se desprenden de la solución.

Los sólidos en suspensión o partículas líquidas (ejemplo: aceites, petróleo, etc.), flotan debido a que las burbujas asociadas a estos los obligan a elevarse hacia la superficie, para posteriormente ser separados por medio de sistemas mecánicos. El líquido clarificado puede separarse cerca del fondo y parte del mismo puede reciclarse.

La flotación se usa para:

- Separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad de las aguas residuales.
- Espesado de los lodos procedentes de los procesos de lodos activos.
- Espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de tratamientos de coagulación química.

El parámetro de diseño fundamental es la relación entre el aire utilizado y los sólidos, esto se determina a nivel laboratorio:

$$\frac{A}{S} = \frac{\text{kg/d de aire liberado por despresurización}}{\text{kg/d de sólidos en el afluente}}$$

Donde:

A = cantidad de aire que se emite por despresurización en kg/d.

S = cantidad de sólidos en suspensión contenidos en el afluente en kg/d.

d = días

⁸ (R.S. Ramalho, pág. 91-203)

II.2.3.5 Neutralización (y Homogeneización).

El tratamiento de neutralización se utiliza en los siguientes casos que se presentan en la depuración de aguas residuales:

- Antes de la descarga de aguas residuales a un medio receptor dado que la vida acuática es muy sensible a cambios de pH fuera de un intervalo cercano a un $\text{pH} = 7$.
- Antes de la descarga de aguas residuales industriales al alcantarillado municipal para evitar neutralizar volúmenes mayores de aguas mixtas (combinación de doméstica e industrial).
- Antes del tratamiento químico o biológico. Para el tratamiento biológico el pH se mantiene en un intervalo de $6.5 < \text{pH} < 8.5$ 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 bióxido de carbono (CO_2) que da lugar a formación de carbonatos y bicarbonatos en la solución. El grado de neutralización depende de:
 - a) Alcalinidad o acidez presente en el agua residual.
 - b) Los mg/l de Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) que deben eliminarse en el tratamiento biológico. Esto relacionado con la producción de CO_2 , que puede dar lugar a una pequeña neutralización de los residuos alcalinos.

Los métodos para neutralización de aguas residuales incluyen homogeneización y los métodos de control directo de pH.

La homogeneización consiste en la mezcla de aguas residuales ácidas y alcalinas en un "tanque de homogeneización". Además de neutralizar, la homogeneización aminora las variaciones de ciertas corrientes residuales intentando conseguir una corriente mezclada con caudal relativamente constante, por otro lado, aminora las variaciones de la DBO del afluente a los sistemas de tratamiento.

Para esto se utilizan tanques de homogeneización de nivel constante o variable, el primero no brinda un caudal constante, mientras que el segundo si.

Otro método de homogeneización es controlar el flujo en las corrientes de entrada, desviando parte del mismo a un estanque de retención, posteriormente se enviaría una corriente con flujo constante al tanque de homogeneización, para mantener la DBO o el caudal.

II.2.3.6 Métodos de control directo del pH.

Los métodos de neutralización directa de agua residual ácida son:

- Lechos de caliza.
- Neutralización por cal.
- Neutralización con sosa cáustica (NaOH).
- Neutralización con carbonato de sodio (Na₂CO₃).
- Neutralización con amoníaco acuoso (NH₄OH).

De los anteriores el más común es la neutralización con cal para agua con ácido sulfúrico (H₂SO₄), pero si la concentración es mayor del 0.6%, la caliza se cubre con una capa insoluble de sulfato de calcio, haciéndose inefectiva.

La sosa es un químico más caro que la caliza, pero es un reactivo uniforme, de fácil manejo y alimentación, el tiempo de reacción es rápido y los productos finales son solubles (sales de sodio).

El carbonato sódico no es tan reactivo como la sosa cáustica, y emite bióxido de carbono, y finalmente, el amoníaco se considera un contaminante, por lo cual su uso puede estar restringido por la normatividad ambiental.

II.2.3.6.1 Neutralización de aguas residuales alcalinas.

Cualquier ácido fuerte puede usarse para neutralización, las consideraciones económicas limitan la elección del ácido sulfúrico (H₂SO₄) y del ácido clorhídrico (HCl), que nos proporcionan reacciones instantáneas.

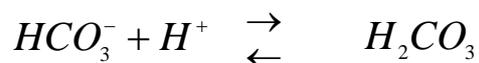
Los gases residuales que contienen el 14% o más de CO₂, se utilizan a veces para neutralizar aguas residuales alcalinas. Al burbujear, el CO₂ forma ácido carbónico reaccionando con la base, esta reacción es lenta pero suficiente si el pH no necesita ajustarse por debajo del valor de 7 u 8.

II.2.3.6.2 Efectos tampón de las aguas residuales.

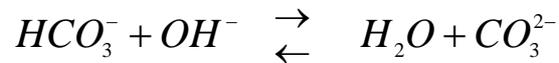
Una solución tampón es la que esta formada por unos compuestos en equilibrio químico de tal forma que ante pequeñas adiciones de ácido o base, no sufre variaciones de iones hidronio (H⁺) o iones oxhidrilos (OH⁻).

Los iones bicarbonatos contenidos en las aguas, como resultado de la disolución de CO₂ en agua reaccionan

Con ácido:



Con base:



Y como resultado de las reacciones, las soluciones en la que se encuentran, actúan como una solución tampón.

II.2.3.7 Aeración en tratamiento de aguas residuales.

En la transferencia de oxígeno atmosférico a las aguas residuales sometidas al tratamiento biológico aerobio, se deben considerar los siguientes aspectos:

- La teoría de la película estática aplicada al caso de transferencia de oxígeno (mecanismo de transferencia).
- Procedimientos experimentales para determinar los coeficientes de transferencia de oxígeno.
- Tipos más comunes de aereadores.
- Procedimientos de especificación de aereadores de acuerdo a su aplicación.

II.2.3.7.1 Teoría de la doble película.

El mecanismo de transferencia de gases de acuerdo a la teoría de la doble película, indica que se presentan dos capas, una líquida y otra gaseosa, en la interfase gas-líquido, la que proporciona la mayor parte de la resistencia al paso de las moléculas de gas de la masa en fase gaseosa a la líquida.

Para gases de gran solubilidad en la fase líquida, la mayor resistencia es la ofrecida por la película gaseosa.

Para gases de baja solubilidad en fase líquida, la resistencia limitante está en la película líquida.

Para los gases de solubilidad intermedia ambas películas pueden ofrecer una resistencia significativa

El proceso de transferencia de oxígeno de una fase gaseosa a otra líquida se realiza en dos pasos:

- Saturación de la interfase líquida entre las dos fases, en esta etapa, la velocidad de transferencia de oxígeno es muy rápida ya que la resistencia de la película de gases es despreciable, por lo tanto esta fase no es la limitante.

CAPÍTULO II.

- Paso de las moléculas de oxígeno de la interfase líquida a la masa del líquido. En este paso, las resistencias que actúan en la transferencia de oxígeno, son las que ofrece la película del líquido y la resistencia de difusión de oxígeno en la masa de la fase líquida.

A baja turbulencia, la resistencia a la difusión en la masa de la fase líquida es mayor que la resistencia de la película líquida.

A turbulencia moderada la resistencia a la difusión en la masa líquida disminuye y es probable que la resistencia de la película líquida gobierne el proceso.

A turbulencia alta se rompe la película líquida y la transferencia de oxígeno se controla por el “factor de renovación superficial” que es la frecuencia con la cual las gotas de líquido con una concentración de oxígeno en el total de la masa líquida, reemplazan el líquido interfacial en el cual la concentración de oxígeno esta saturada.

Las otras etapas de tratamiento, quedan fuera del alcance de este trabajo, debido a que, normalmente, estos procesos los lleva a cabo una empresa particular, cuya función es proporcionar un servicio a la empresa y obtener el agua tratada para reutilización en la misma planta de Refinación, o para terceros.

II.3 DISPOSICIÓN DE LOS EFLUENTES DEL DRENAJE ACEITOSO.

Se entiende por disposición final de un efluente toda operación de eliminación del contaminante que implique la incorporación de los mismos a cuerpos receptores después de un tratamiento, cuando este es requerido.

En las áreas de proceso de la refinería, el drenaje aceitoso y pluvial, de acuerdo a lo indicado en la Figura 1, tienen dicho tratamiento “a final de tubería”, es decir, la eliminación de los contaminantes se lleva a cabo al final de la línea de producción.

Este tratamiento a final de tubería considera la siguiente etapa:⁹

- Tratamiento primario y homogeneización.

El tratamiento primario comprende la remoción del aceite disperso y la materia de partículas gruesas por separación por gravedad. Los aceites y sólidos en estados coloidales o disueltos no se eliminan en esta etapa. Si el aceite contenido en la corriente de alimentación no está emulsionado, el contenido de aceites del efluente puede estar abajo de los 50 mg/l.

Para anular las amplias variaciones en el flujo de agua y en la concentración de impurezas, los tanques de almacenamiento pueden utilizarse para proveer el amortiguamiento y homogeneización del agua aceitosa y el agua pluvial. Los tanques pueden ser equipados con desnatadores para mayor eliminación de aceite.

Como resultado de este tratamiento, se obtienen agua aceitosa e hidrocarburos. Los hidrocarburos son enviados a un tanque de almacenamiento para su posterior envío a procesamiento.

Por lo regular, el agua aceitosa tiene su disposición final en los cuerpos receptores o bienes nacionales, por lo que ésta debe cumplir con los límites máximos permisibles en los contenidos de los diferentes parámetros que marca la normatividad ambiental mexicana.

Otra opción para el manejo del agua aceitosa es su envío a tratamiento secundario o terciario, para llevar a cabo una reutilización de dicho recurso.

⁹ (R.H. Jenkis, C.D.A. Pauluis, 1979, pág. II-20)

II.4 NORMATIVIDAD AMBIENTAL VIGENTE.

Como se ha mencionado anteriormente, en el punto II.3, las descargas de aguas residuales sin tratamiento, ocasionan grados variables de contaminación en los cuerpos de agua superficiales del país, lo que limita el uso directo del agua y representa un riesgo a la salud. Para controlar esta situación, se han definido una serie de leyes y normas en nuestro país, las cuales se describen a continuación.

La legislación y normatividad ambiental, en materia de aguas residuales obedece al esquema de jerarquización mostrado en la Figura 5:¹⁰

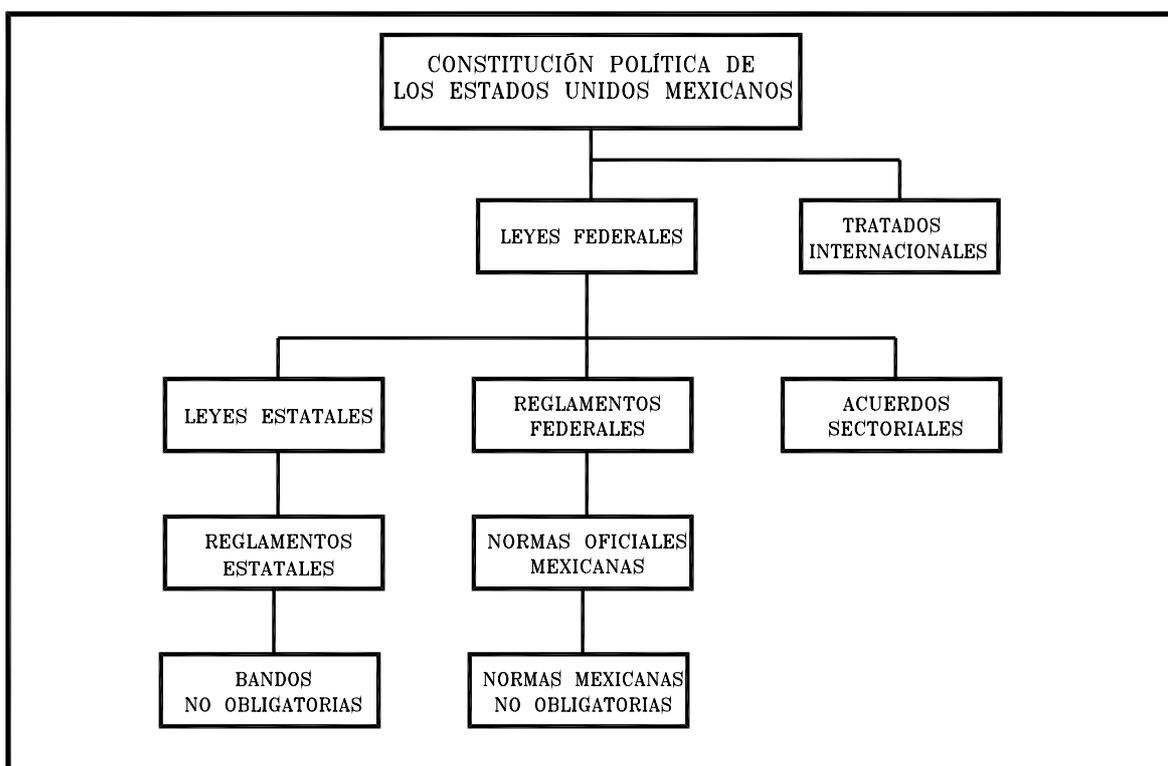


Figura 5. Jerarquización de la Legislación Mexicana.

Ahora bien, en base a esta jerarquización de la Legislación Mexicana, tenemos la jerarquización de la Legislación Ambiental Mexicana, que se indica en la Figura 6.¹¹

¹⁰ (M. Pasalagua, 2005, apuntes)

¹¹ ídem

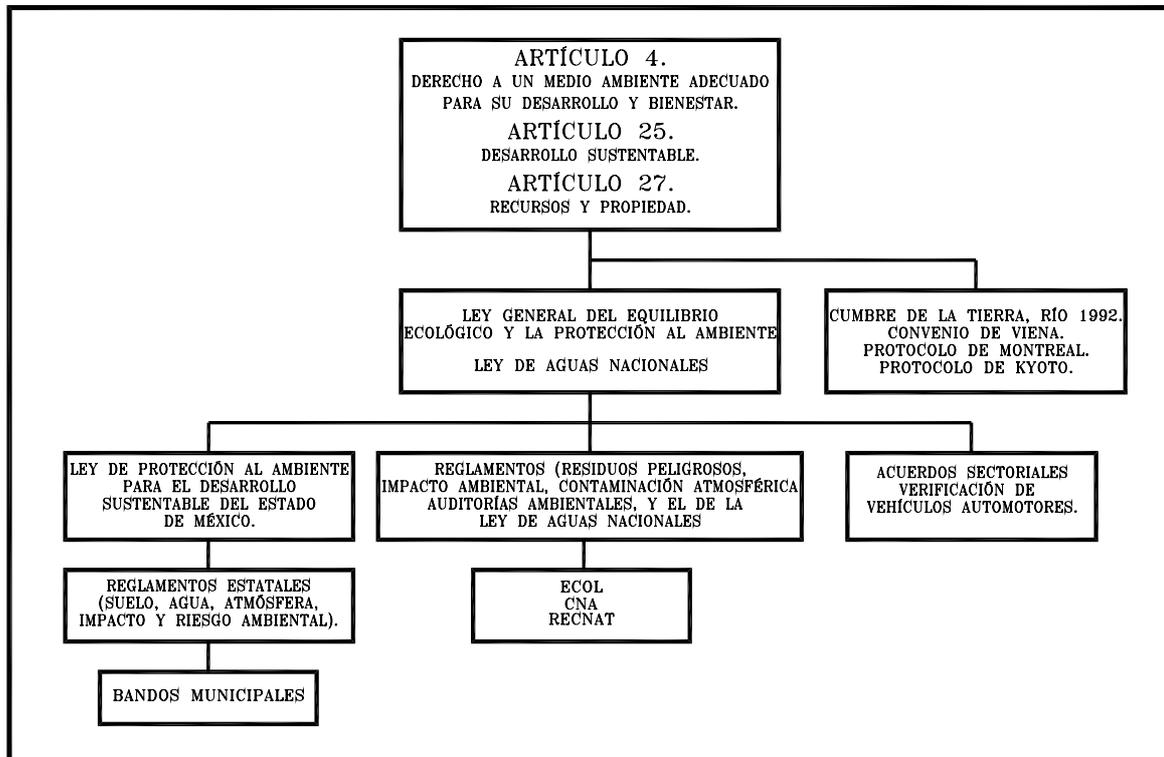


Figura 6. Jerarquización de la Legislación Ambiental Mexicana.

En el siguiente apartado se apunta a grandes rasgos, los contenidos de la legislación que debieran ser prioritariamente considerados para el tratamiento de nuestro problema.

II.4.1 Marco Constitucional del agua.¹²

El principio que fundamenta el régimen constitucional de las aguas, proviene de la propiedad originaria que se encuentra en el primer párrafo del Artículo 27:

“La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originariamente a la Nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada”.

¹² (Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos, Art. 4, 25 y 27); (M.C. Carmona, 2005, apuntes)

CAPÍTULO II.

El complemento de este principio, se encuentra en el tercer párrafo del mismo artículo, que nos da el principio de conservación de los elementos naturales, el de restauración del equilibrio ecológico y el de evitar la destrucción de los elementos naturales, que son modalidades que la Nación tiene derecho de imponer a la propiedad privada, además de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de apropiación, entre los cuales tenemos las aguas.

El concepto constitucional de aguas nacionales se encuentra en el quinto párrafo del mismo Artículo, indicando que son propiedad de la Nación:

- Las aguas de los mares territoriales, en extensión y términos fijados por el Derecho Internacional.
- Las aguas marinas interiores.
- Las aguas de las lagunas y esteros que se comuniquen permanente o intermitentemente con el mar.
- Las aguas de los lagos interiores de formación natural que estén ligados directamente a corrientes constantes.
- Las aguas de los ríos y sus afluentes directos o indirectos.
- Las aguas de las corrientes constantes o intermitentes y sus afluentes directos o indirectos.
- Las aguas de los lagos, lagunas o esteros cuyos vasos, zonas o riberas, estén cruzadas por líneas divisorias de dos o más entidades o entre la República y un país vecino, o cuando el límite de las riberas sirva de lindero entre dos entidades federativas o a la República con un país vecino.
- Las aguas de los manantiales que broten en las playas, zonas marítimas, cauces, vasos o riberas de los lagos, lagunas o esteros de propiedad nacional.
- Las aguas que se extraigan de las minas.
- Los cauces, lechos o riberas de los lagos y corrientes interiores en la extensión que fije la ley.
- Las aguas del subsuelo.

Cualesquiera otras aguas no incluidas en la enumeración anterior, se considerarán como parte integrante de la propiedad de los terrenos por los que corran o en los que se encuentren sus depósitos, pero si se localizaren en dos o más predios, el aprovechamiento de estas aguas se considerará de utilidad pública, y quedará sujeto a las disposiciones que dicten los Estados.

Con base en este principio constitucional, se define el contenido de la Ley de aguas nacionales, de la cual se extrae la siguiente información.

II.4.2 Ley de aguas nacionales.¹³

La normativización de las aguas nacionales se detalla de manera más amplia en la Ley de Aguas Nacionales, y su objetivo es la regulación de la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como la distribución, control, y preservación de la cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral y sustentable.

En su sección relativa a la Administración del Agua (Título Segundo), en el **Artículo 7** se declara de utilidad pública la eficientización y modernización de los servicios de agua domésticos y públicos urbanos; la prevención, control y mitigación de la contaminación del agua, así como la conservación de este recurso natural.

Además, en el Título Séptimo relativo a la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, el **Artículo 85**, en base a las **fracciones VI Y VII del Artículo 7**, indica que es fundamental la preservación de las condiciones ecológicas del régimen hidrológico, a través de la promoción y ejecución de las medidas y acciones necesarias para proteger y conservar la calidad del agua, en los términos de Ley; y señala que las personas físicas o morales, que exploten, usen o aprovechen aguas nacionales en cualquier uso o actividad, tienen la responsabilidad de ejecutar las medidas y acciones necesarias para prevenir su contaminación, proporcionando las condiciones adecuadas para reintegrar las aguas con la finalidad de permitir su explotación, uso o aprovechamiento posterior, y mantener el equilibrio de los ecosistemas vitales.

En los cargos que se confieren a la “Autoridad del agua” en el **Artículo 86**, se menciona el de establecer y vigilar el cumplimiento de las condiciones de descarga que deben satisfacer las aguas residuales de los distintos usos y usuarios, lo cual consideramos relevante debido a que este es uno de los medios que conllevan a implementar sistemas de tratamiento de aguas residuales para dar cumplimiento a las disposiciones de la Normas Oficiales Mexicanas, para la prevención, conservación y mejoramiento de la calidad de aguas y bienes nacionales.

Otra de las atribuciones que se otorga a la “Autoridad del agua” esta indicada en el **Artículo 87**, donde se menciona que ésta determinará los parámetros que deberán cumplir las descargas, la capacidad de asimilación y dilución de los cuerpos de aguas nacionales y las cargas de contaminantes que éstos pueden recibir, así como las metas de calidad y los plazos para alcanzarlas, mediante la expedición de Declaratorias de Clasificación de los Cuerpos de Aguas Nacionales, las cuales contendrán:

¹³ (Ley de Aguas Nacionales, Art. 7, 85 al 88 bis 1, 91 bis, 92, y 96 bis 1); (M.C. Carmona, 2005, apuntes)

CAPÍTULO II.

- I. La delimitación del cuerpo de agua clasificado.
- II. Los parámetros que deberán cumplir las descargas según el cuerpo de agua clasificado conforme a los periodos previstos en el reglamento de esta Ley.
- III. La capacidad del cuerpo de agua clasificado para diluir y asimilar contaminantes.
- IV. Los límites máximos de descarga de los contaminantes analizados, que son la base para fijar las condiciones particulares de descarga”.

También es responsabilidad de la "Autoridad del Agua" (**Art. 88**), la expedición del permiso para verter en forma permanente o intermitente aguas residuales en cuerpos receptores que sean aguas nacionales o demás bienes nacionales, incluyendo aguas marinas, así como cuando se infiltren en terrenos que sean bienes nacionales o en otros terrenos cuando puedan contaminar el subsuelo o los acuíferos.

Por lo tanto, en el **Artículo 88 BIS**, se indica la serie de requisitos que deben cumplir las personas físicas o morales que efectúen descargas de aguas residuales a los cuerpos receptores a que se refiere la presente Ley, entre los cuales se mencionan los siguientes:

- Contar con el permiso de descarga de aguas residuales.
- Tratar las aguas residuales previamente a su vertido a los cuerpos receptores, cuando sea necesario para cumplir con lo dispuesto en el permiso de descarga correspondiente y en las Normas Oficiales Mexicanas.
- Instalar y mantener en buen estado, los aparatos medidores y los accesos para el muestreo necesario para la determinación de las concentraciones de los parámetros previstos en los permisos de descarga.
- Hacer del conocimiento de "la Autoridad del Agua" los contaminantes presentes en las aguas residuales generados por el proceso o servicio y que no estuvieran considerados en las condiciones particulares de descarga fijadas.
- Informar a "la Autoridad del Agua" de cualquier cambio en sus procesos, cuando con ello se ocasionen modificaciones en las características o en los volúmenes de las aguas residuales.
- Operar y mantener las obras e instalaciones necesarias para el manejo y, en su caso, el tratamiento de las aguas residuales, para asegurar el control de la calidad de dichas aguas antes de su descarga a cuerpos receptores.
- Cumplir con las condiciones del permiso de descarga.
- Cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas y en su caso con las condiciones particulares de descarga.

CAPÍTULO II.

Cuando se considere necesario, "la Autoridad del Agua" aplicará en primera instancia los límites máximos que establecen las condiciones particulares de descarga en lugar de la Norma Oficial Mexicana, para lo cual le notificará oportunamente al responsable de la descarga.

Ahora bien, respecto a las descargas de aguas residuales a los sistemas de drenaje o alcantarillado urbano o municipal de los centros de población, que se viertan a cuerpos receptores, el **Artículo 88 BIS 1**, nos indica que corresponde a los municipios, a los estados y al Distrito Federal el control de las mismas.

También menciona que cuando se efectúen en forma fortuita una o varias descargas de aguas residuales sobre cuerpos receptores que sean bienes nacionales, los responsables deberán avisar inmediatamente a "la Autoridad del Agua", especificando volumen y características de las descargas, para que se promuevan o adopten las medidas conducentes por parte de los responsables o las que, con cargo a éstos, realizará "la Comisión" y demás autoridades competentes. Los responsables de las descargas mencionadas en el párrafo anterior, deberán realizar las labores de remoción y limpieza del contaminante de los cuerpos receptores afectados por la descarga.

Cabe señalar que también las descargas de aguas residuales que realicen las personas físicas o morales, a las redes de drenaje o alcantarillado, deberán cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas y, en su caso, con las condiciones particulares de descarga que emita el estado o el municipio, de acuerdo a lo citado en el **Artículo 91 BIS**, de la misma forma, los municipios, el Distrito Federal y en su caso, los estados, deberán tratar sus aguas residuales para dar cumplimiento a lo dispuesto.

Las causas de suspensión de las actividades que den origen a las descargas de aguas residuales, se indican en el **Artículo 92**, considerando como relevantes las que se mencionan a continuación:

- Cuando la calidad de las descargas no se sujete a las Normas Oficiales Mexicanas correspondientes, a las condiciones particulares de descarga o a lo dispuesto en esta Ley y sus reglamentos.
- Cuando el responsable de la descarga, contraviniendo los términos de Ley, utilice el proceso de dilución de las aguas residuales para tratar de cumplir con las Normas Oficiales Mexicanas respectivas o las condiciones particulares de descarga.

CAPÍTULO II.

En relación a la Responsabilidad por el Daño Ambiental, en el **Artículo 96 BIS 1** se menciona que quienes causen contaminación en un cuerpo receptor por descargas de aguas residuales, asumirán la responsabilidad de reparar el daño ambiental causado, sin perjuicio de la aplicación de las sanciones administrativas, penales o civiles que procedan, mediante la remoción de los contaminantes del cuerpo receptor afectado y restituirlo al estado que guardaba antes de producirse el daño, o cuando no fuere posible, mediante el pago de una indemnización fijada en términos de Ley por Autoridad competente.

Esta normatividad por sí sola no determina el tratamiento que se ha de dar a las aguas residuales en tanto que su producción genera alteraciones al equilibrio ecológico, de tal manera que la operatividad de esta ley no puede verse de manera independiente o aislada de la Ley General del Equilibrio Ecológico y Protección al Ambiente, de la cual también se destacan a continuación algunos puntos relevantes en lo que concierne a nuestro tema.

***II.4.3 Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al ambiente.*¹⁴**

La Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, referente a la legislación en materia ambiental, regula al agua estableciendo criterios para la prevención y control de su contaminación, y el aprovechamiento sustentable, y menciona las responsabilidades de la Federación, los Estados y municipios en lo relativo a la materia.

La Ley señala que para evitar la contaminación del agua, quedarán sujetos a regulación Federal o local:

- Descargas de origen industrial.
- Descargas de origen municipal y su mezcla incontrolada con otras descargas.
- Descargas derivadas de actividades agropecuarias.
- Descargas de desechos, sustancias o residuos generados en las actividades de extracción de recursos no renovables.
- La aplicación de plaguicidas, fertilizantes y sustancias tóxicas.
- Las infiltraciones que afecten los mantos acuíferos.
- El vertimiento de residuos sólidos, materiales peligrosos, y lodos provenientes del tratamiento de aguas residuales, en cuerpos y corrientes de agua.

¹⁴ (Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente, Capítulo III, Art. 117 al 123).

CAPÍTULO II.

Aunado a ello, hace manifiesto de la obligación de quien genere las descargas a realizar, de llevar a cabo el tratamiento de las aguas residuales previamente a su descarga o infiltración, para dar cumplimiento a las condiciones particulares de descarga y/o lo dispuesto en las Normas Oficiales Mexicanas que para tal efecto se expidan, esto con la finalidad de prevenir:

- Contaminación en los cuerpos receptores.
- Interferencias en procesos de depuración de las aguas.
- Trastornos, impedimentos o alteraciones en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas, y en la capacidad hidráulica en los depósitos de propiedad nacional, así como en los sistemas de alcantarillado.

Adicionalmente a estas leyes, existe la Normatividad Oficial Mexicana vigente de cuyo contenido se destaca lo siguiente.

II.4.4 Normas Oficiales Mexicanas.¹⁵

Las Normas Oficiales Mexicanas son el instrumento normativo en el que se establecen las disposiciones de carácter técnico y tienen su fundamento legal en los diferentes ordenamientos y su proceso de emisión en la Ley Federal de Metrología y Normalización.

En el caso del agua, encontramos tres normas que hacen referencia a las características que deben cumplir las aguas residuales:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano o municipal.
- Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1997, que establece los límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público.

Los valores que nos establecen los límites máximos permisibles que se indican en cada una de las normas, se muestran en las tablas siguientes:

¹⁵ (Normas Oficiales Mexicanas NOM-001-ECOL-1996, NOM-002-ECOL-1996, y NOM-003-ECOL-1996); (M.C. Carmona, 2005, apuntes)

CAPÍTULO II.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS (TABLA 2 DE LA NOM-001-ECOL-1996)																				
PARÁMETROS <small>(miligramos por litro, excepto cuando se especifique)</small>	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS						SUELO		HUMEDALES NATURALES (B)	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)			
	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Temperatura °C (1)	N.A.	N.A.	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	N.A.	N.A.	40	40
Grasas y Aceites (2)	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25	15	25
Materia Flotante (3)	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos Sedimentables (m/l)	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	N.A.	N.A.	1	2
Sólidos Suspendidos Totales	150	200	75	125	40	60	75	125	40	60	150	200	75	125	75	125	N.A.	N.A.	75	125
Demanda Bioquímica de Oxígeno ₅	150	200	75	150	30	60	75	150	30	60	150	200	75	150	75	150	N.A.	N.A.	75	150
Nitrógeno Total	40	60	40	60	15	25	40	60	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	15	25	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.
Fósforo Total	20	30	20	30	5	10	20	30	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.	5	10	N.A.	N.A.	N.A.	N.A.

Tabla VIII. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

P.D.= Promedio Diario

P.M. = Promedio mensual;

N.A.= No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos

(1) Instantáneo

(2) Muestra Simple Promedio Ponderado

(3) Ausente según el Método de Prueba definido en la NMX-AA-006

CAPÍTULO II.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA CONTAMINANTES BÁSICOS (TABLA 3 DE LA NOM-001-ECOL-1996)																				
PARÁMETROS (*)	RÍOS						EMBALSES NATURALES Y ARTIFICIALES				AGUAS COSTERAS						SUELO		HUMEDALES	
	Uso en riego agrícola (A)		Uso público urbano (B)		Protección de vida acuática (C)		Uso en riego agrícola (B)		Uso público urbano (C)		Explotación pesquera, navegación y otros usos (A)		Recreación (B)		ESTUARIOS (B)		Uso en riego agrícola (A)		NATURALES (B)	
(miligramos por litro)	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.	P.M.	P.D.
Arsénico	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2	0.5	0.1	0.1	0.2
Cianuro	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0	4	6.0	4.0	6.0
Cromo	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01	0.01	0.02	0.005	0.01	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4	2	4
Plomo	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4	5	10	0.2	0.2
Zinc	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20	10	20

Tabla IX. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

(*) Medidos de manera total.

P.D. = Promedio Diario

P.M. = Promedio Mensual

N.A. = No es aplicable

(A), (B) y (C): Tipo de Cuerpo Receptor según la Ley Federal de Derechos.

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES (TABLA 1 DE LA NOM-002-ECOL-1996)			
PARÁMETROS (miligramos por litro, excepto cuando se especifique otra)	Promedio Mensual	Promedio Diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mililitros por litro)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Níquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

Tabla X. Límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado urbano municipal.

Y finalmente:

LIMITES MAXIMOS PERMISIBLES DE CONTAMINANTES (TABLA 1 DE LA NOM-003-ECOL-1996)					
TIPOS DE REUSO	PROMEDIO MENSUAL				
	Coliformes fecales NMP/100 ml	Huevos de Helminto (h/l)	Grasas y aceites mg/l	DBO₅ mg/l	SST/mg/l
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO DIRECTO	240	≤ 1	15	20	20
SERVICIOS AL PUBLICO CON CONTACTO INDIRECTO U OCASIONAL	1,000	≤ 5	15	30	30

Tabla XI. Límites máximos permisibles de contaminantes para las aguas residuales tratadas que se reutilicen en servicios al público.

En estas normas, además de los parámetros y valores de los límites máximos permisibles que rigen a las aguas residuales, también se establecen las frecuencias de muestreos y análisis, frecuencias de reportes, fechas límites de cumplimiento, así como fechas para presentar programas de acciones para el abatimiento de la contaminación del agua o bienes nacionales.

CAPÍTULO II.

De acuerdo a lo señalado anteriormente, es claro que en materia de agua, se establece la prohibición de descargar o infiltrar en cualquier cuerpo o bien nacional, aguas residuales que contengan contaminantes sin previo tratamiento y el permiso o autorización de las autoridades federales o locales, dependiendo del caso que se trate. Esto es con el objetivo de regular la explotación, uso o aprovechamiento de las aguas nacionales, así como la regulación del control y distribución de las mismas, sin perder de vista que con estas acciones se pretende además la preservación de la cantidad y calidad para lograr su desarrollo integral sustentable.

Como consecuencia de estas disposiciones, se establece que las personas físicas o morales que aprovechen aguas en cualquier uso o actividad, están obligadas a realizar las medidas necesarias para prevenir su contaminación y en su caso, para reintegrarlas en condiciones adecuadas a fin de permitir su posterior utilización y mantener el equilibrio de los ecosistemas.

Ahora bien, es importante señalar, que aún cuando se encuentra legalmente establecido el cumplimiento de la normatividad ambiental, en muchas ocasiones, no se tiene la implementación de las medidas necesarias para dar cumplimiento a ello, debido a que existen diversos factores que influyen directamente en la toma de decisiones para el desarrollo de los trabajos que conducen a tal fin.

El problema principal radica en las inversiones económicas que se requieren para el desarrollo o implementación de tecnologías o estrategias que conducen a los procesos limpios, principalmente en aquellas situaciones en las que las empresas tienen cierta antigüedad, y que no cumplen con los estándares normativos.

Además, el cumplimiento de la normatividad ambiental no es considerado como un proceso redituable económicamente, por lo que, en base a este criterio, algunas empresas prefieren pagar los costos generados por las multas o sanciones que se imponen legalmente por los incumplimientos legales. En otros casos, la autoridad genera las condiciones particulares a los cuales se somete la empresa, que de alguna manera, brinda una opción de incumplimiento permitido, por lo que, en ambas situaciones no se minimiza la problemática de la contaminación del recurso natural.

Es por ello que debe llevarse a cabo el análisis de la relación entre el sistema de producción y la protección de los recursos naturales, porque hasta el momento se consideran como cuestiones que se contraponen.

La legislación es solamente un instrumento de control sobre los contaminantes, que responde a la necesidad de preservar el medio ambiente y lograr adecuarlo con el desarrollo de manera equilibrada, por lo tanto, se debe tener presente que la contravención a las disposiciones establecidas en la normatividad ambiental no representan de ninguna manera una agresión a la autoridad, sino a la humanidad.

III.1 PLANTEAMIENTO DE LA NUEVA ESTRUCTURA PARA EL MANEJO DEL DRENAJE ACEITOSO DE PROCESOS DE REFINACIÓN.

La regulación ambiental en México, tiene un alto contenido técnico, pero se enfrenta al fenómeno de la industrialización con un desarrollo determinado en el pasado, que no contiene como referente a lo ambiental para su aplicación. En México, este fenómeno se ha caracterizado por el desarrollo de la industria petrolera y los efectos que el mal manejo del ambiente provoca en la salud.¹

Durante décadas no se consideró que la industrialización, además de propiciar un bienestar a la población, producía también una degradación de los sistemas naturales, degradación que alteraría el anhelado bienestar. El impacto ambiental producido por los energéticos, comprende los efectos de todas y cada una de las fases de un ciclo energético, como son: la exploración, la extracción, el refinamiento, el transporte, el almacenamiento, el consumo y la producción de desechos.

En los últimos años, ha comenzado a cobrar importancia el punto de vista de acuerdo **al desarrollo económico que debe satisfacer las necesidades actuales sin comprometer por ello el futuro, esto es, el desarrollo sustentable.**

Por lo que hoy en día, los países en vías de desarrollo, como el nuestro, se enfrentan al reto de progresar económicamente y a la vez, conservar sus recursos y sistemas naturales que son necesarios para el bienestar y salud de las poblaciones.

Uno de los métodos más utilizados para el control del impacto ambiental, son las **regulaciones administrativas**, que generalmente, impone costos desiguales de control entre los contaminadores, los usuarios y los afectados. Cabe señalar que el aumento en el costo de cualquier servicio o producto cuando se somete a un control de impacto ambiental, es inevitable, dando como resultado un alto costo social, y una baja ganancia ambiental. Por lo tanto, **es preferible la prevención de la contaminación, es decir, es mejor reducir la producción de subproductos o desechos contaminantes, que desarrollar una tecnología costosa que controle la emisión de tales subproductos o desechos, o el realizar programas de limpieza de medios ya degradados.**

Por otra parte, es importante mencionar que **los residuos generados en los procesos productivos son pérdidas netas de recursos materiales y energéticos, que no han sido incorporados en el producto final**, por lo que

¹ (S. Vega, 1992; pág. 89-92).

CAPÍTULO III.

resulta lógico llevar a cabo las acciones necesarias para reducir tales pérdidas de recursos e incrementar la productividad global del proceso, logrando a su vez la reducción de residuos generados y también en una disminución de los recursos consumidos por unidad de producto.²

Este concepto de eco-eficiencia es uno de los pilares de las estrategias de control ambiental, ya que al aumentar la eficiencia de la utilización de los recursos, se reduce el impacto ambiental del proceso de producción.

Para ello es necesario involucrar medidas tecnológicas y de gestión orientadas a reducir los consumos de materiales y energía, **prevenir la generación de residuos en su fuente misma**, reducir los riesgos operacionales y otros posibles aspectos ambientales adversos, a través de todo el proceso de producción.

Esta estrategia preventiva e integral, tiene la ventaja de que considera el control ambiental como parte integral del proceso de producción, que surge como consecuencia de una gestión productiva más eficiente

Todos estos elementos se integran en el concepto de **Procesos Limpios**, lo que en la década de los 80 surgió como un nuevo paradigma de los países de mayor desarrollo industrial, se ha constituido en un principio fundamental para el desarrollo de la actividad industrial, en el contexto de una real sustentabilidad económica y ambiental.

La aplicación del concepto de **Procesos Limpios** en los procesos existentes, consiste en establecer las medidas para mejorar el desempeño de empresas que, en muchos casos, llevan años de operación y que no cubren los estándares ambientales requeridos en la actualidad, lo cual se logra mediante la implementación de **medidas de gestión que van acompañadas de modificaciones tecnológicas, por ejemplo:**³

- Reemplazo y/o reparación de las unidades críticas que afectan la eficiencia operacional, la calidad del producto, la seguridad y el desempeño ambiental.
- Evitar pérdidas obvias de materiales y energía.
- Mejorar la capacidad de medición de las variables principales de proceso e implementar un sistema de control donde se requiera.
- Facilitar la gestión y tratamiento de los residuos mediante una segregación racional que favorezca un mayor aprovechamiento de los recursos.

Para llevar a cabo tales medidas, es necesario identificar las principales debilidades y fortalezas de la empresa en materia ambiental, seguridad y salud ocupacional, incluyendo las oportunidades y problemas que enfrenta.

² (C.A. Zaror, 2000; pág. 6-1,2)

³ (idem; pág. 6-7, 8)

III.2 ESTRATEGIAS PARA LA REDUCCIÓN DE LOS EFLUENTES DE DRENAJES ACEITOSOS.⁴

Los efluentes de drenajes aceitosos se pueden reducir por diferentes vías complementarias, cuyos principios básicos son:

- Prevenir la generación en su fuente misma.
- Reutilizar aquellas corrientes residuales inevitables, con valor potencial de uso.
- Conservar energía y agua.
- Segregar los drenajes para una mejor reutilización y/o tratamiento.
- Utilizar sistemas de tratamiento de mayor eficiencia de depuración para corrientes residuales segregadas.
- Integrar conceptos ambientales a la gestión de producción.

La reducción del volumen de drenajes aceitosos tiene un impacto directo, tanto en el costo de tratamiento final, como en la productividad global del proceso. Las opciones existentes para lograr tal objetivo implican medidas de tipo tecnológico y de gestión.

En la Figura 7 se encuentran ilustradas las principales opciones a seguir para la reducción de los efluentes de drenajes aceitosos, en esta figura se observa que uno de los puntos de acción consiste en prevenir su generación o minimizarlos en su fuente misma. En seguida, aquellos drenajes aceitosos que no puedan ser minimizados en su fuente o prevenir su generación, deben ser gestionados para facilitar su recuperación y reutilización. Finalmente, los residuos que no puedan seguir dicho destino deberán ser tratados para su posterior disposición final, de acuerdo a las normas vigentes. Los drenajes segregados pueden ser tratados en sistemas de tratamiento de mayor eficiencia depurativa.

⁴ (C.A. Zaror, 2000; pág. 6-11, 12)

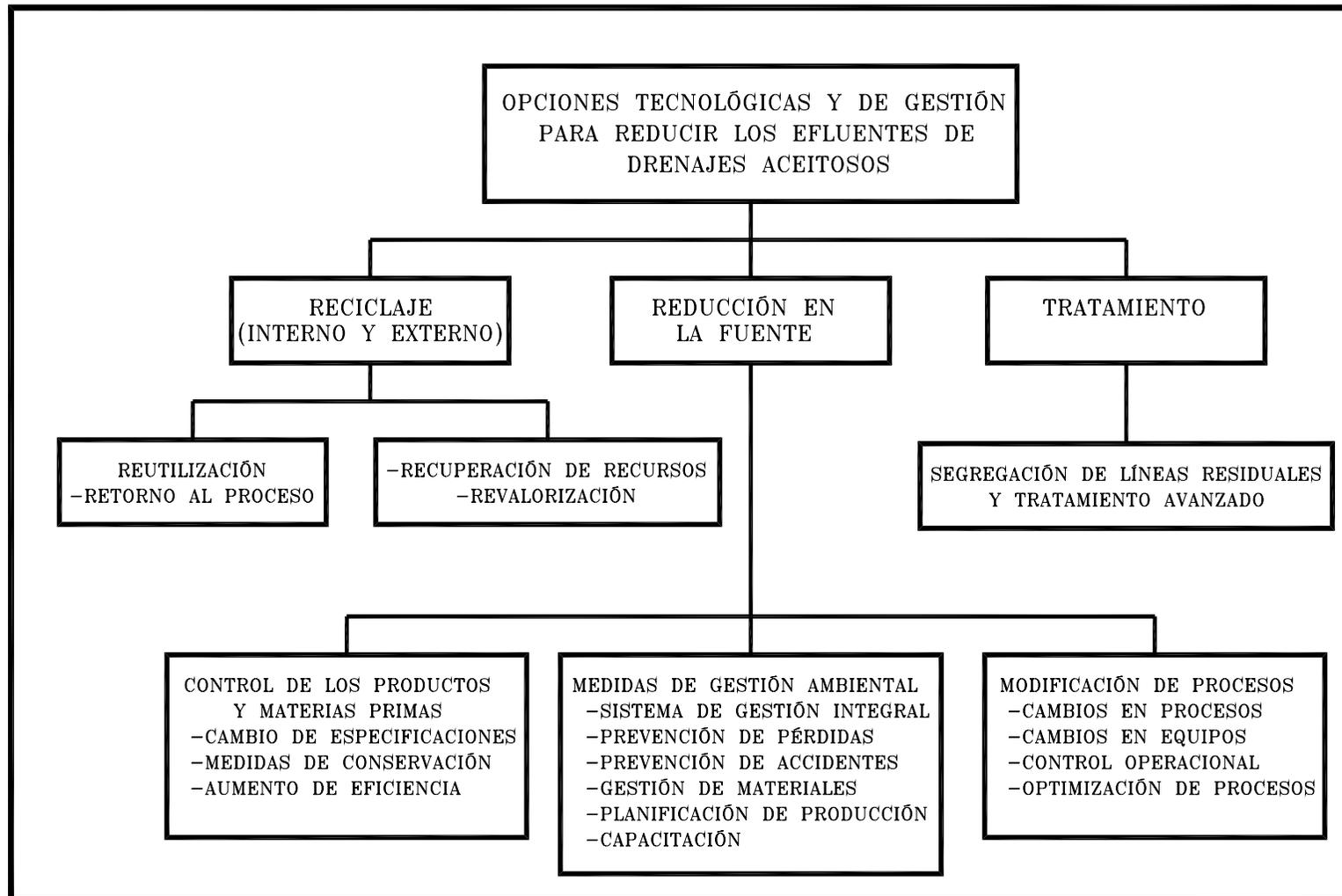


Figura 7. Reducción de generación de drenajes aceitosos.

CAPÍTULO III.

En general, existen dos mecanismos generales a través de los cuales se puede lograr una reducción de los efluentes de drenajes aceitosos:

- **Medidas de Prevención:** En la mayoría de los casos, el manejo cuidadoso de las operaciones, una buena supervisión, un alto nivel de entrenamiento y motivación, el mantenimiento preventivo y, en general, prácticas adecuadas, pueden conducir a una reducción sustancial de las pérdidas materiales y energéticas. Es importante recalcar la importancia que tiene el mantenimiento preventivo de los equipos clave y la ejecución de auditorías ambientales periódicas. Estas últimas permiten identificar claramente aquellas operaciones y procedimientos causantes de pérdidas de recursos.
- **Modificaciones al Proceso:** Durante el diseño de los procesos y equipos, se debe tener presente minimizar las pérdidas de materiales y energía, y la carga contaminante de las emisiones finales al ambiente. Cuando se trata de instalaciones industriales que ya están en su fase operacional, se debe identificar las modificaciones necesarias para lograr dichos objetivos.

Es muy importante recuperar todo recurso potencialmente utilizable, presente en los drenajes aceitosos, mediante medidas de segregación y separación apropiadas. Los hidrocarburos recuperados pueden ser reutilizados en el proceso o transformados para producir nuevos productos.

III.3 ESTRUCTURA NUEVA DE DRENAJES ACEITOSOS EN ÁREAS DE PROCESO.

Ahora bien, en base al punto II.1 relativo a la estructura de un drenaje convencional en las áreas de proceso de refinación, y al punto II.4 respecto a la legislación ambiental, a continuación se plantea la nueva estructura para el manejo de los drenajes aceitosos en las áreas de proceso, cabe hacer la aclaración que los siguientes ejemplos son considerados en áreas nuevas dentro de las instalaciones de las refinerías existentes, como son los casos de las refinerías de Cadereyta, Madero y Minatitlán, que aún cuando los cuerpos receptores son diferentes, ya que en algunos casos son cuerpos de agua y en otros pueden ser terrenos, podemos considerar que esta estructura puede tener una aplicación general.

La importancia del planteamiento de la nueva estructura para el manejo de los drenajes aceitosos en las áreas de proceso, radica en el hecho de que en estas áreas se realizan en mayor frecuencia y cantidad operaciones en las cuales se hace uso del agua y que, ya sea de manera directa o indirecta, ésta entra en contacto con los hidrocarburos (como se plantea en el punto I.3), dando origen a grandes volúmenes de aguas aceitosas, que al ser mezcladas con otras aguas, principalmente el agua pluvial, causa que los tratamientos a los que deben ser sometidos para dar cumplimiento a la normatividad resulten ser más complejos y costosos, principalmente porque estos tratamientos se llevan a cabo **a final de tubería**.

En la Figura 8, de manera general, se muestran los diferentes drenajes: aceitoso, pluvial, químico y sanitario. El planteamiento de este esquema cumple, principalmente, dos de las estrategias que mencionamos anteriormente, para la reducción de emisión de drenajes aceitosos:

- Aplicación de la segregación de los drenajes, para evitar la dilución de los contaminantes, en este caso, de los hidrocarburos.
- Recuperación de hidrocarburos.

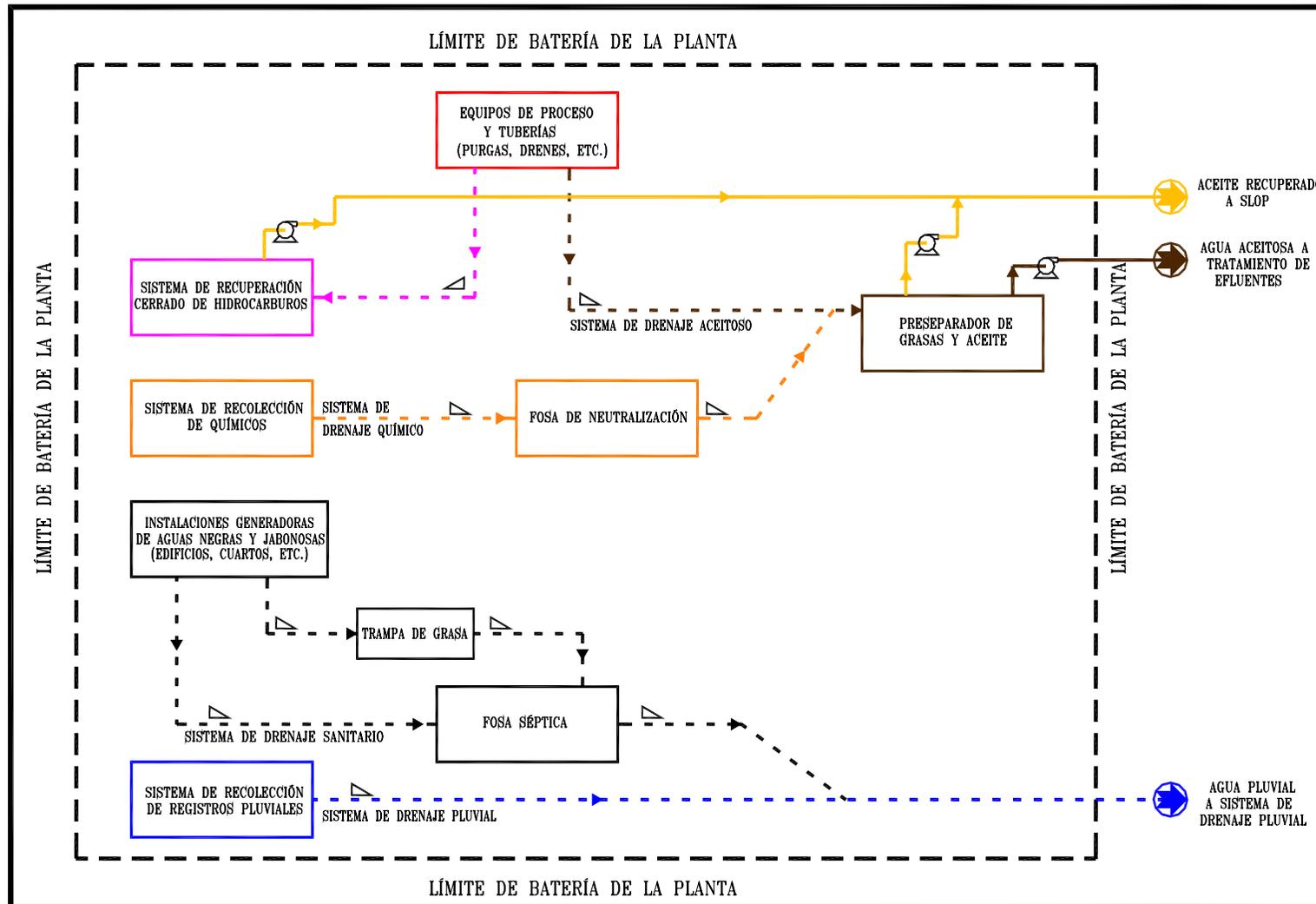


Figura 8. Sistema de drenajes en áreas de proceso.

CAPÍTULO III.

El detalle de la integración de los drenajes aceitosos en el área de proceso, se muestra en la Figura 9, en la cual se observa un equipo de proceso y dos sistemas de drenajes cuya operación consiste en lo siguiente:

El equipo de proceso debe ser purgado por requerimientos de la operación de la planta, o bien, debe ser vaciado para proporcionar mantenimiento al mismo. En ambos casos, se obtiene un efluente cuya composición es prácticamente hidrocarburo, ya que sólo contiene pequeñas cantidades de agua, como puede ser el vapor de agotamiento o el agua de proceso; esta corriente se envía a un sistema cerrado de recuperación de hidrocarburos conectado al equipo, y consta principalmente de: tuberías, accesorios, un recipiente de recuperación y un sistema de bombeo.

Los hidrocarburos contenidos en el recipiente, pueden ser integrados nuevamente en la misma planta para su reproceso, o bien, ser enviados al sistema de recuperación de hidrocarburos (tanques de almacenamiento slop) para su posterior alimentación a otras plantas de proceso.

Cuando se realiza el mantenimiento del equipo, una vez vacío, se llevan a cabo las operaciones de lavado, obteniéndose un efluente conformado por el agua que se utiliza para el lavado y los residuos de hidrocarburos que quedan contenidos en el recipiente y que no fueron eliminados en el vaciado del equipo. Debido a que este efluente contiene en mayores proporciones agua, se envía a otro sistema de preseparación que también se encuentra conectado al equipo de proceso, y consta de: tuberías, accesorios, un cárcamo preseparador de grasas y aceite, y un sistema de bombeo.

En este sistema se lleva a cabo el proceso de separación por decantación del agua y los hidrocarburos, estos son integrados al cabezal colector de hidrocarburos recuperados a slop, cuyo destino se menciona anteriormente, mientras que el agua obtenida de este proceso, y que aún contiene hidrocarburos, se integra a un cabezal colector fuera de límites de batería para su envío a tratamiento de efluentes de la refinería.

Con este sistema de segregación de drenajes aceitosos, es posible considerar que el contenido de hidrocarburos en la corriente de agua aceitosa obtenida del cárcamo preseparador de hidrocarburos, es mucho menor que el agua que se pudiera obtener de la fosa preseparadora del sistema de drenajes aceitoso y pluvial de la Figura 1.

Por otro lado, podemos darnos cuenta, que estos sistemas cerrados no permiten la emisión de hidrocarburos a la atmósfera (VOC's), lo cual es una contribución a la eliminación de la contaminación atmosférica, aún cuando no es el punto de discusión de este trabajo.

CAPÍTULO III.

También se tienen los drenajes químicos que se envían a una fosa de neutralización antes de ser enviados al cárcamo preseparador de grasas y aceite, lo cual evita tener instalaciones demasiado grandes para llevar a cabo tal función, dado que al mezclarse con las demás corrientes, el volumen de agua residual a neutralizar sería mucho mayor.

Finalmente, como complemento a estos esquemas, se indica en la Figura 10, el detalle del drenaje pluvial en áreas de proceso, el cual, debe ser completamente independiente de los otros, y su envío es directamente al sistema de drenaje pluvial de la refinería, debido a que en este el contenido de hidrocarburos es mínimo o casi nulo.

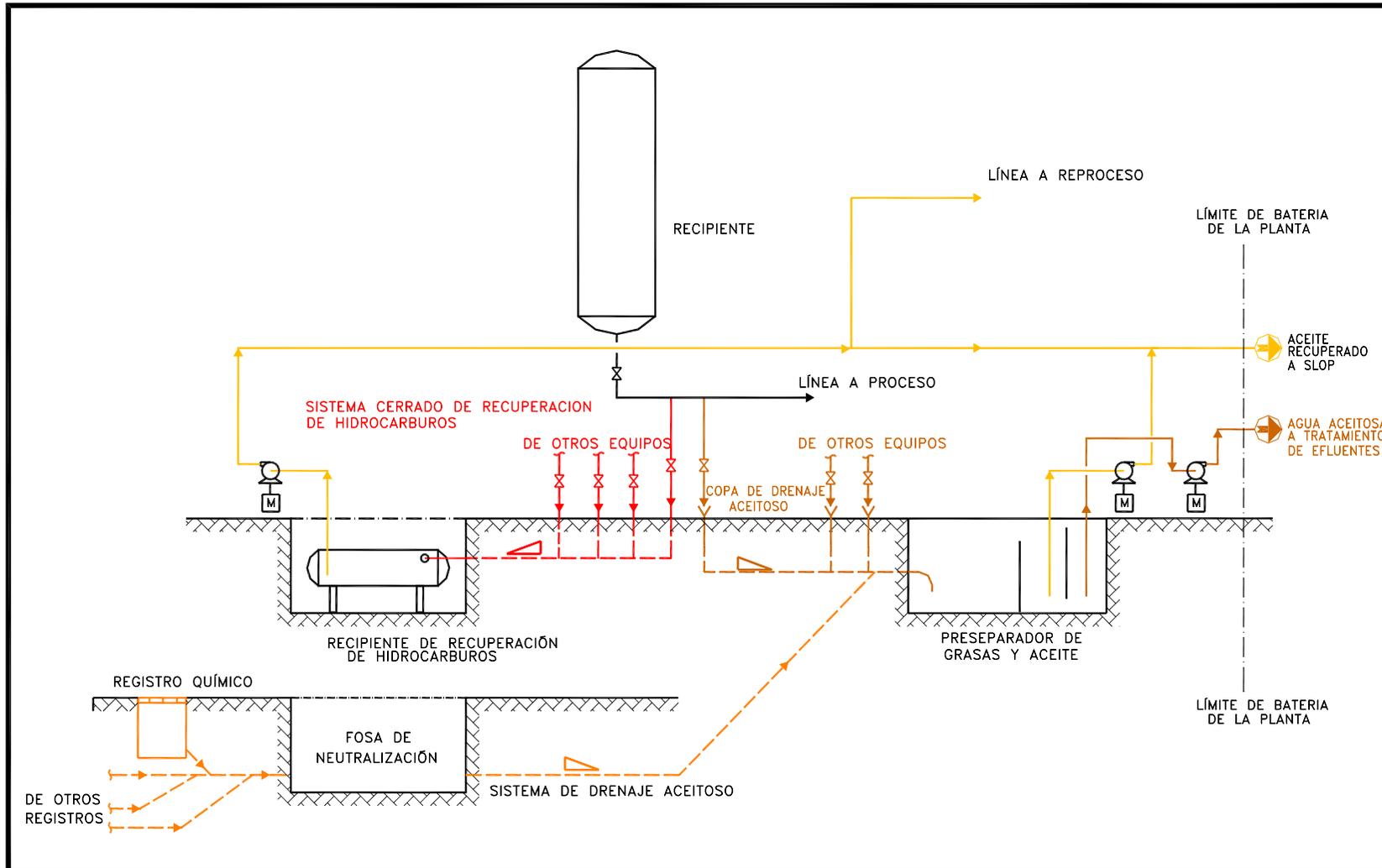


Figura 9. Detalle de la estructura nueva de drenajes aceitosos en áreas de proceso de Refinación.

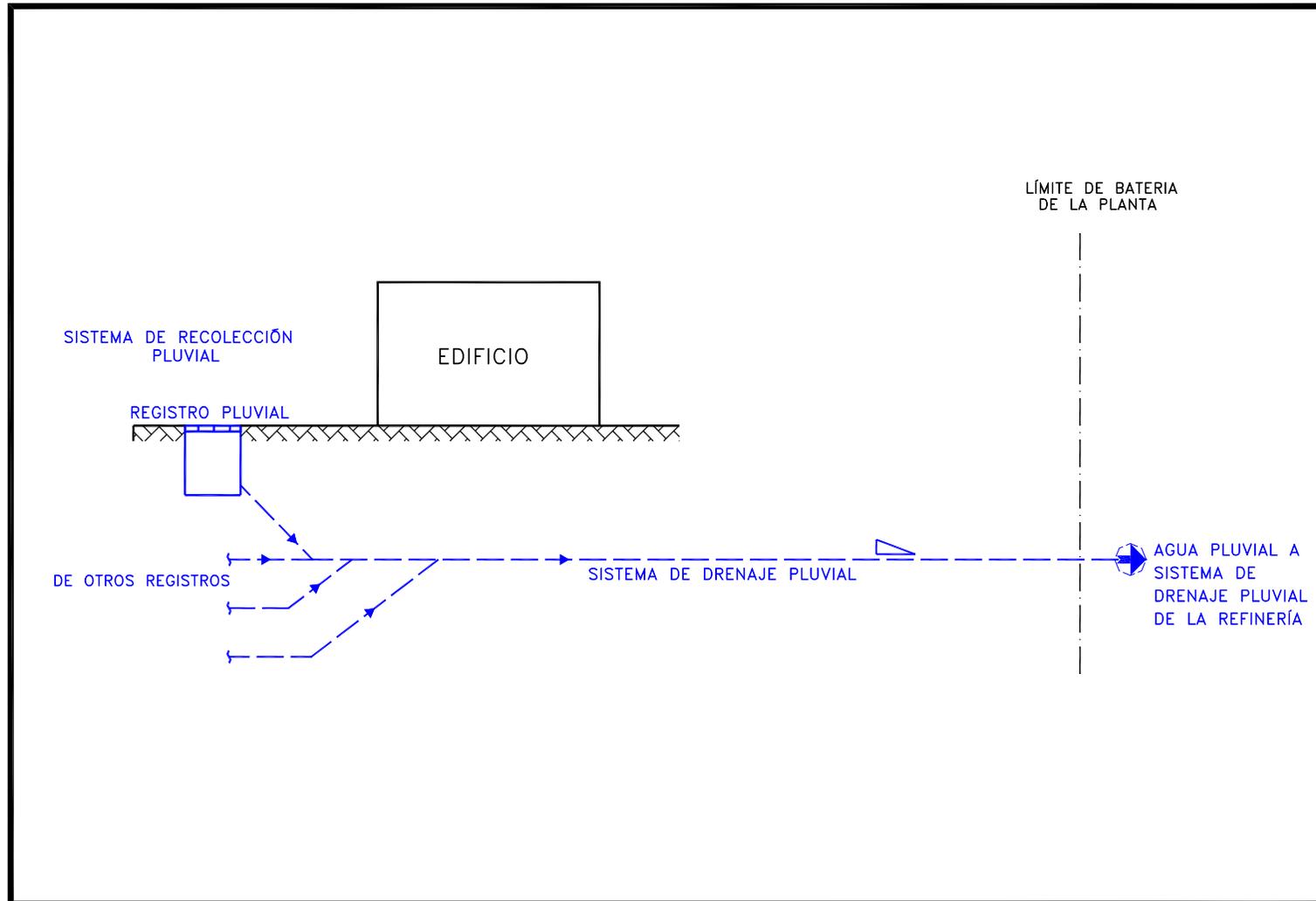


Figura 10. Detalle del drenaje pluvial en áreas de proceso.

CAPÍTULO III.

Se ha visto la propuesta de la segregación de los drenajes aceitoso y pluvial para las áreas de proceso, que como se menciona anteriormente, son las de mayor importancia debido al volumen que generan de aguas aceitosas, sin embargo, es evidente que no sólo de estas áreas se obtienen dichos drenajes, de acuerdo a lo que se indica en la Tabla I del capítulo I, por lo tanto, a continuación se muestran en las Figuras 11 a la 19, los diagramas de bloques de algunas de las instalaciones que se mencionan en la Tabla I, a la cual se hace referencia.

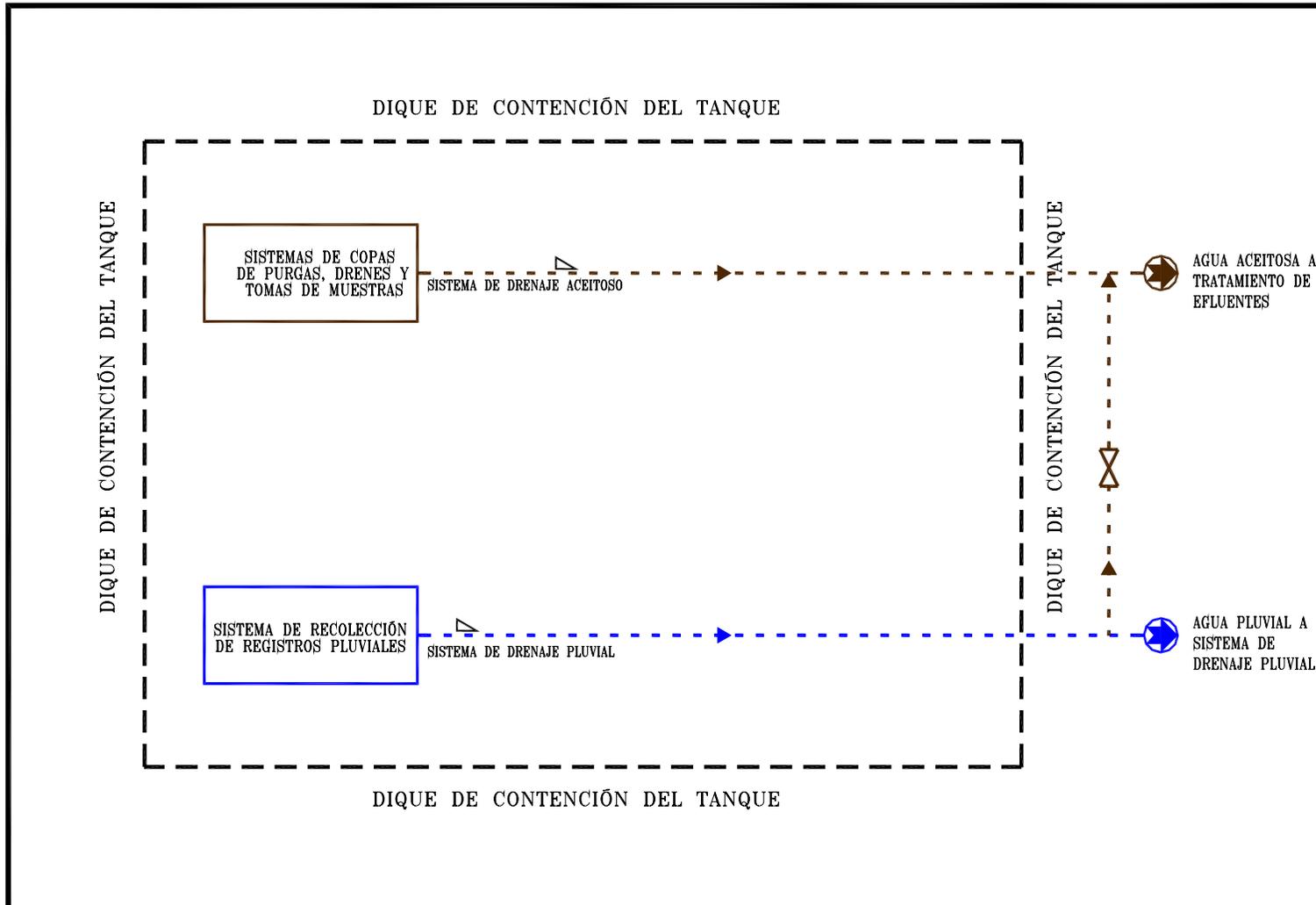


Figura 11. Drenajes en áreas de almacenamiento en recipientes atmosféricos.

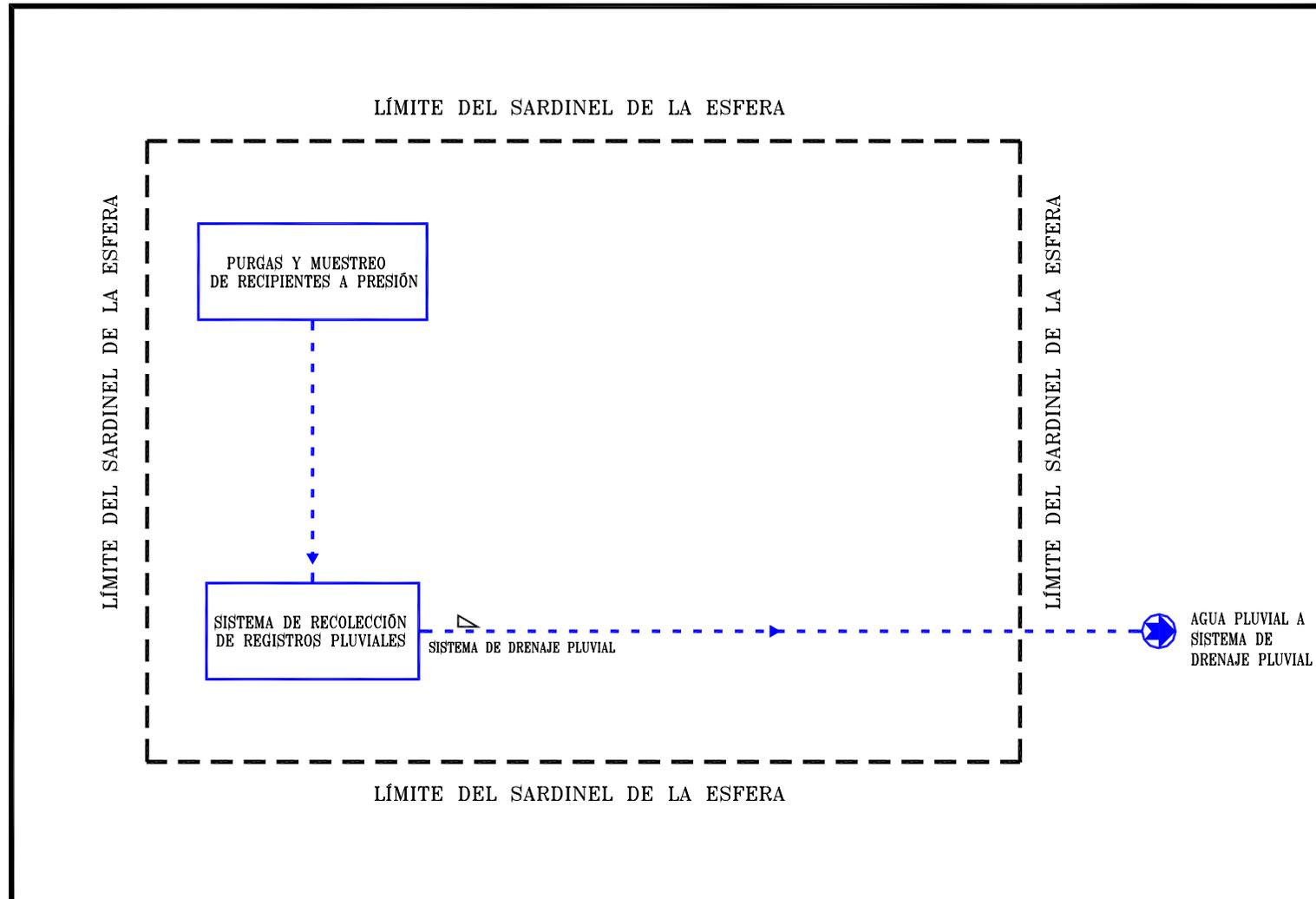


Figura 12. Drenajes en áreas de almacenamiento en recipientes a presión.

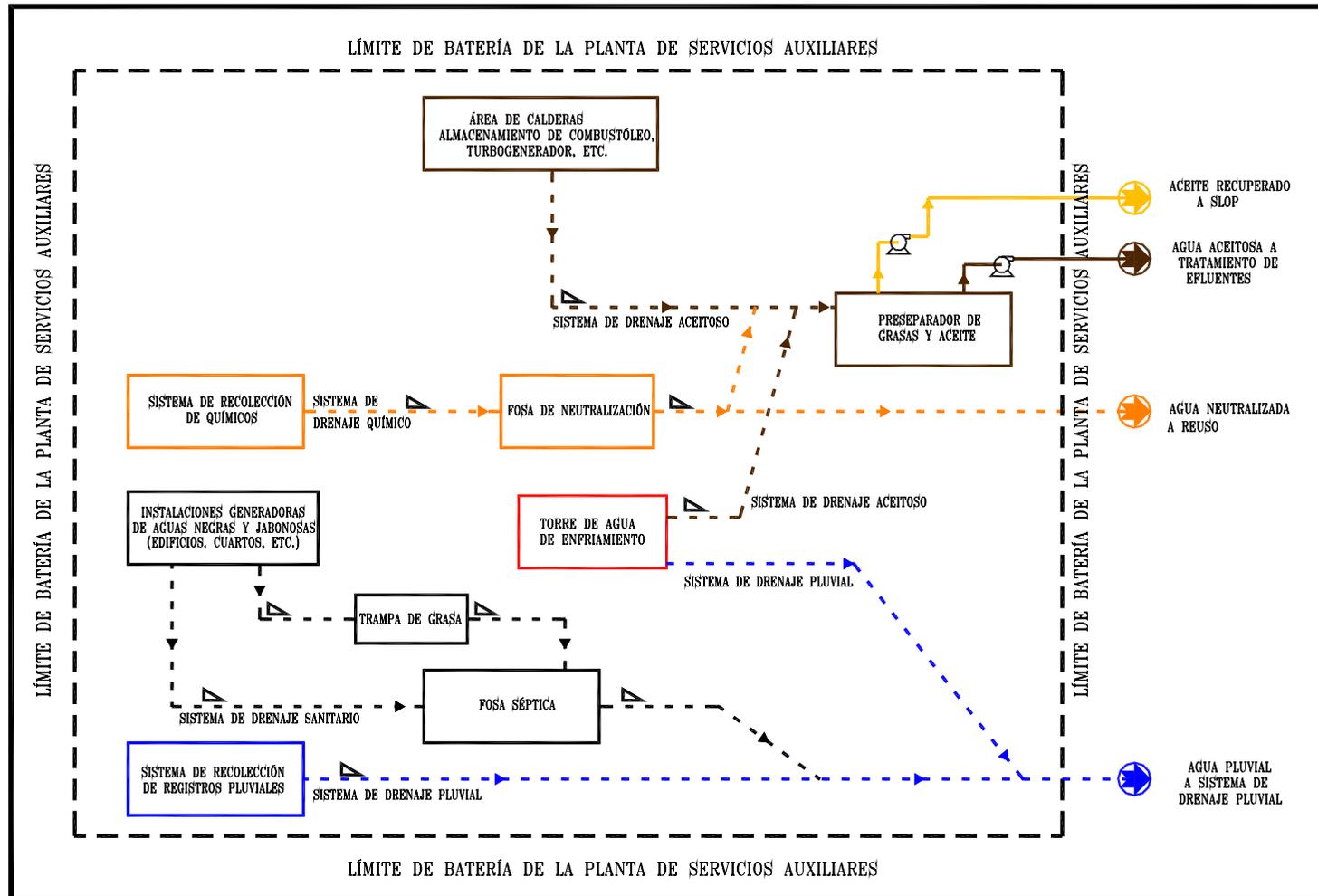


Figura 13. Drenajes en áreas de: calderas, unidades desmineralizadoras de agua, y generación de energía eléctrica.

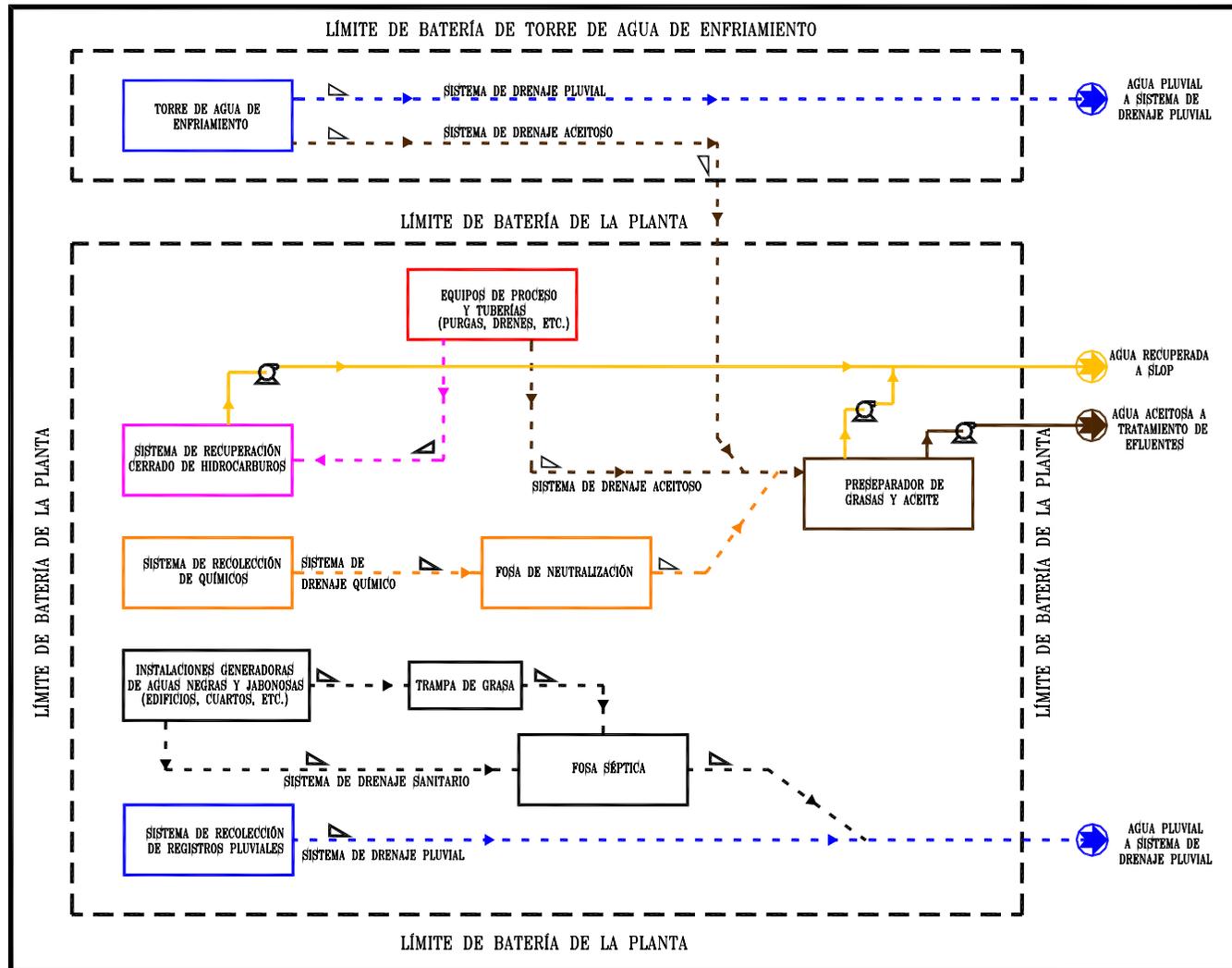


Figura 14. Drenajes en áreas de torres de enfriamiento de agua.

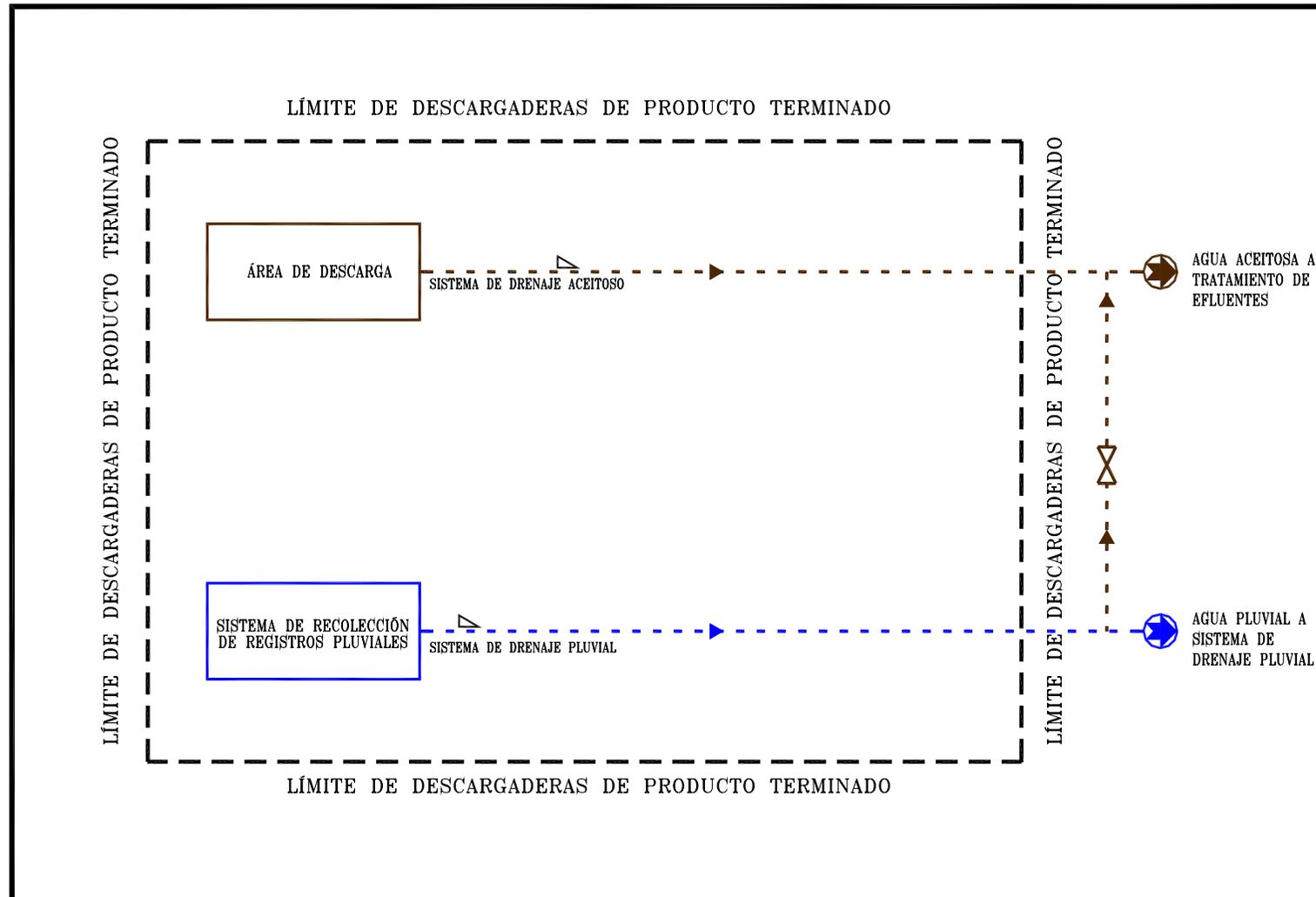


Figura 15. Drenajes en áreas de descargaderas y/o llenaderas de productos.

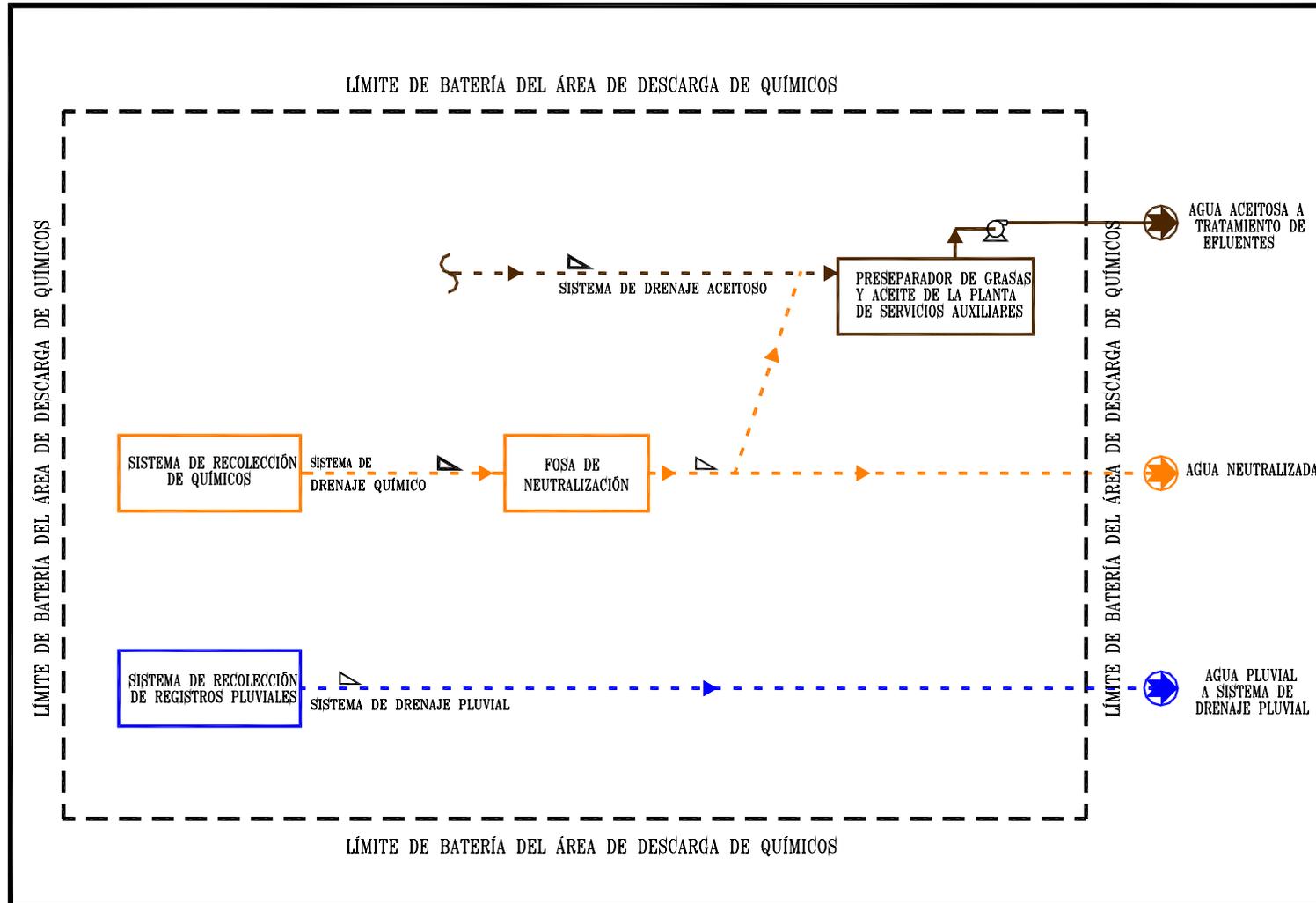


Figura 16. Drenajes en áreas de descargaderas de químicos.

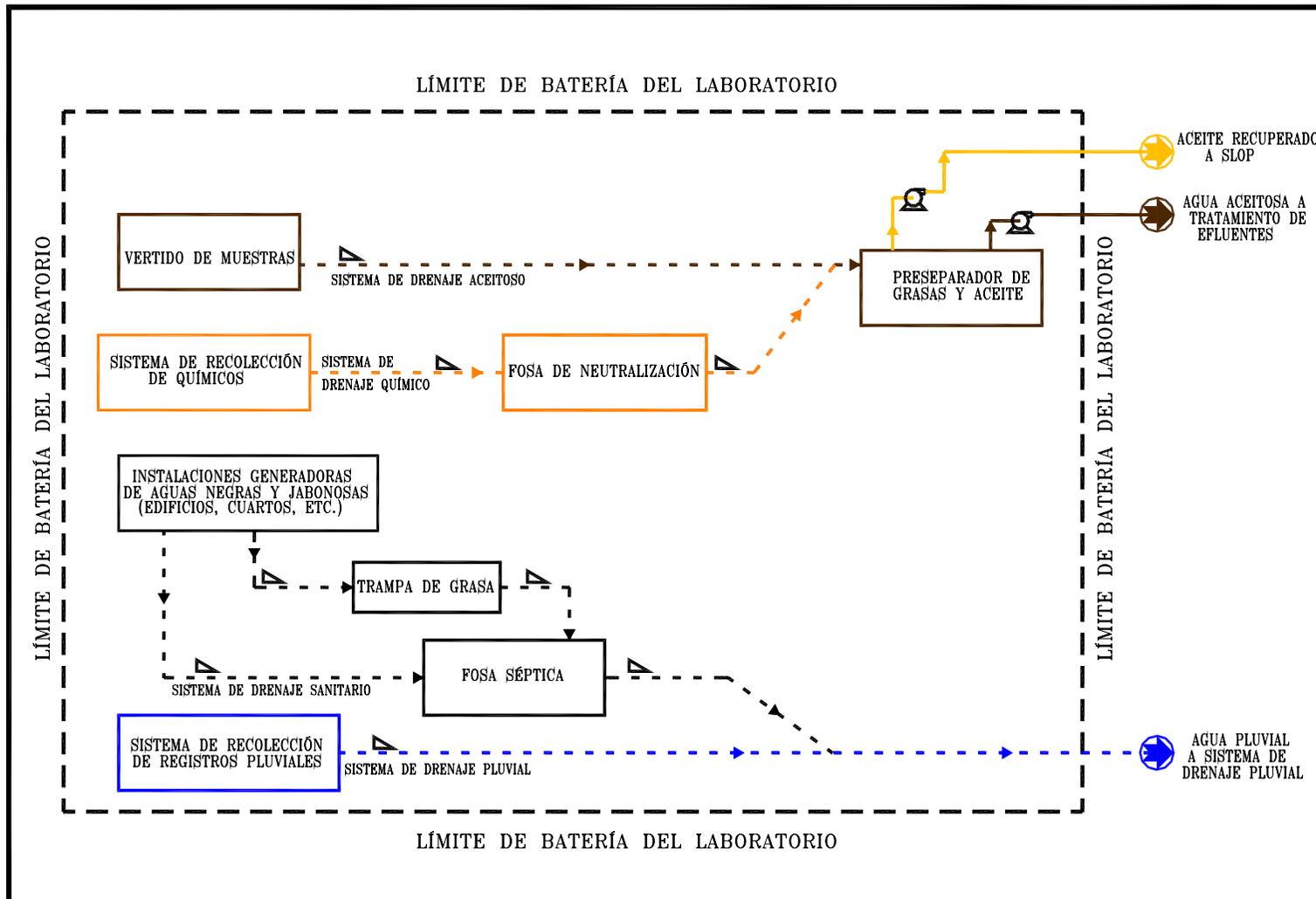


Figura 17. Drenajes en áreas de laboratorios.

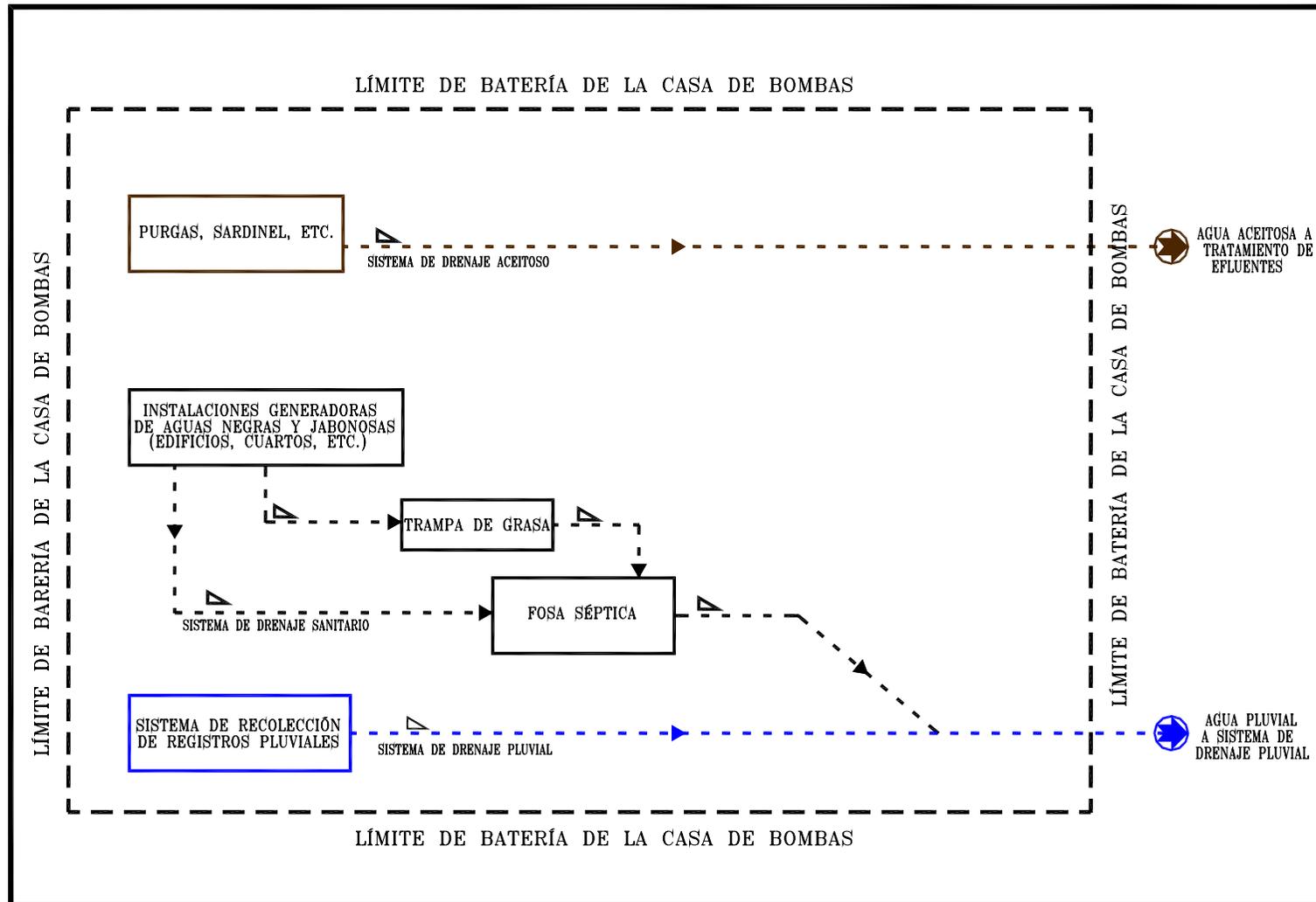


Figura 18. Drenajes en áreas de casas de bombas de productos no licuables.

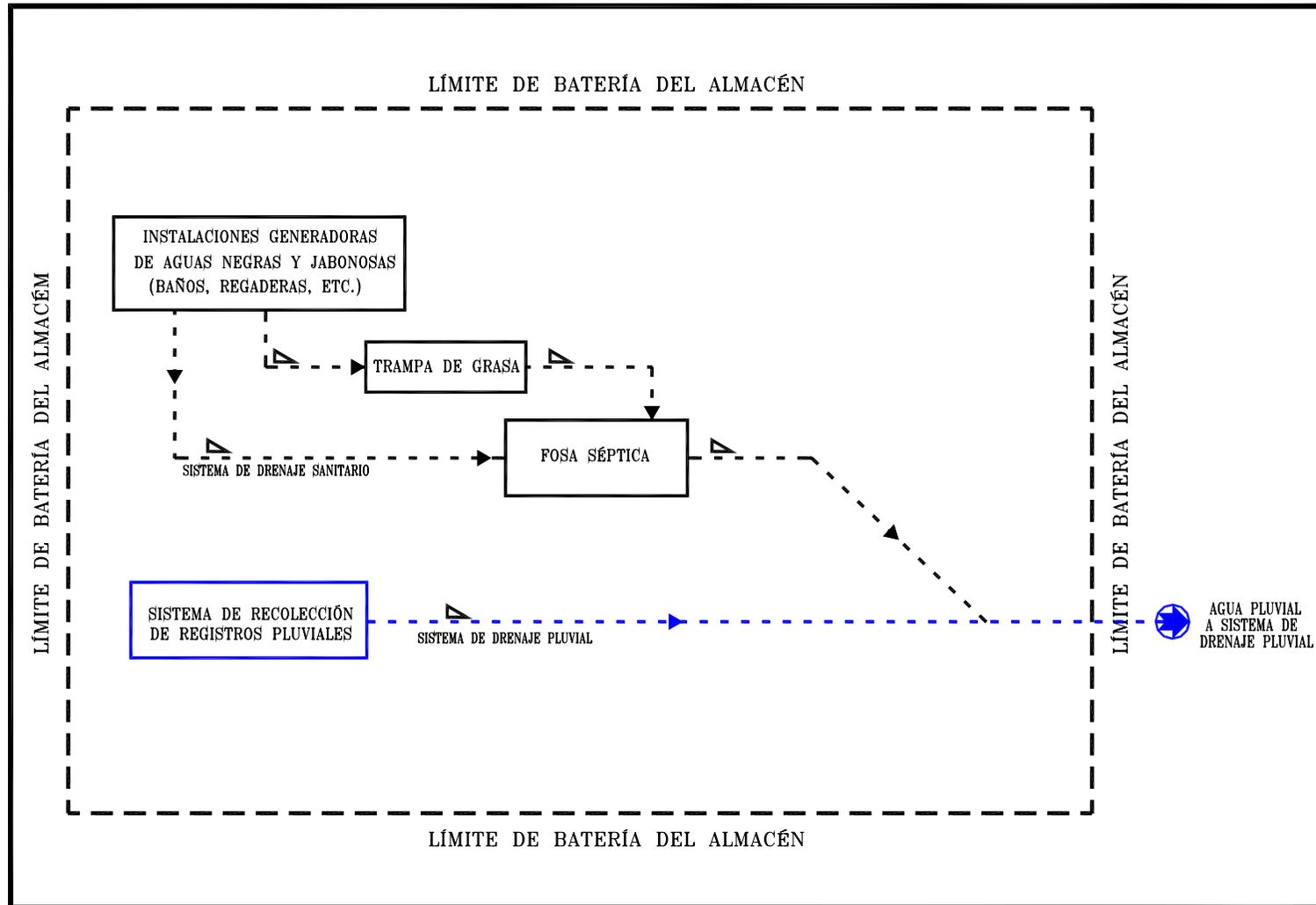


Figura 19. Drenajes en áreas de almacén.

CAPÍTULO III.

Como resultado de la obtención de drenajes aceitoso y pluvial de las diferentes áreas que se tienen en las instalaciones de la refinería, se muestra en la Figura 20, la integración de todas estas corrientes.

En este arreglo se puede considerar de manera general, que la condición normal de funcionamiento de los drenajes aceitosos, es coleccionar y desalojar el agua aceitosa de los recipientes y tuberías durante el mantenimiento de la planta y debe ser independiente del drenaje pluvial.

En el mismo esquema, se observa que las corrientes de drenajes aceitosos provenientes de las diversas áreas, se integran en un cabezal coleccionador que lo conduce al área de tratamiento de efluentes, en la cual únicamente se lleva a cabo el pretratamiento y tratamiento primario, que consta de:

- Sedimentación.
- Separación de grasas y aceite por medio de:
 - Fosas API.
 - Separadores de placas corrugadas.

Los efluentes obtenidos de este tratamiento, son el hidrocarburo, que como se menciona anteriormente, se envía a tanques de almacenamiento para su posterior procesamiento, y el agua residual, que debe cumplir con los parámetros marcados en la normatividad ambiental mexicana para ser descargada a los cuerpos receptores, o en algunos casos, cumple con los parámetros establecidos para ser enviada a un tratamiento secundario y terciario, cuya finalidad es llevar a cabo la recirculación de este recurso natural y disminuir el consumo del mismo.

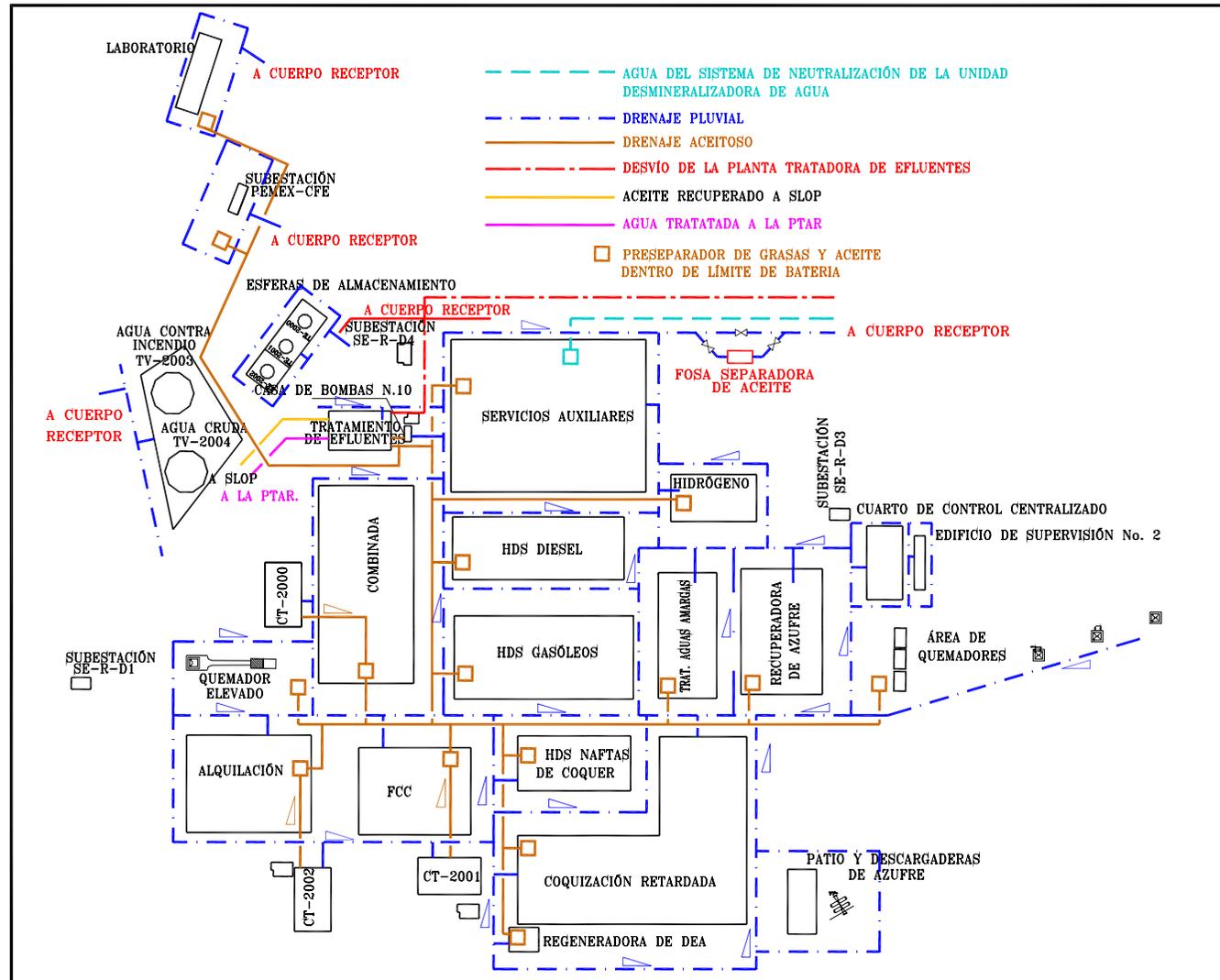


Figura 20. Integración de drenajes de las diferentes áreas en instalaciones de Refinación.

CAPÍTULO III.

Por otra parte, cabe señalar que existe la probabilidad de contaminación del drenaje pluvial, esto es en caso de fuga en algún equipo, ya sea dinámico o estático, lo cual es contraproducente a lo que se ha establecido respecto a evitar la dilución de los contaminantes, para minimizar este efecto, se recomienda tener una fosa separadora de hidrocarburos ubicada en paralelo a los tubos colectores del drenaje pluvial, antes de la descarga al cuerpo receptor. Este arreglo debe contar con una interconexión y un sistema de válvulas que permitan hacer la desviación de la corriente de agua pluvial contaminada hacia la fosa. De la misma forma que se indica en las fosas preseparadoras de las áreas de proceso, esta fosa debe contar con un sistema de bombeo para el envío del hidrocarburo recuperado al tanque de almacenamiento, y si se requiere, para el envío del agua al cuerpo receptor. Esta fosa se indica en el diagrama de la Figura 21.

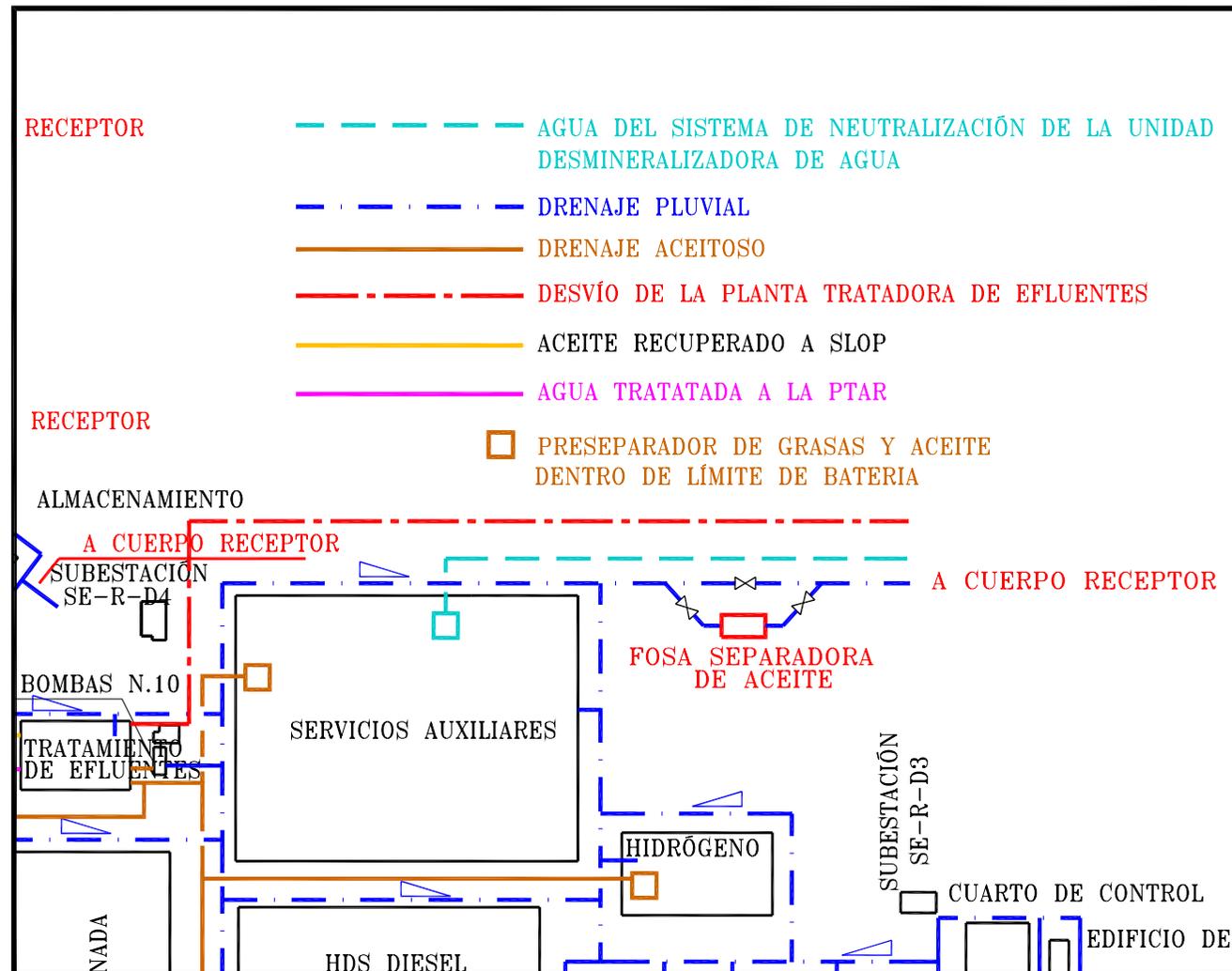


Figura 21. Fosa de separación de aceite para el caso de contaminación de drenaje pluvial.

CAPÍTULO III.

Cuando se presenta el evento de contaminación del drenaje pluvial por fugas en equipos, se deben considerar diversos factores que influyen en el dimensionamiento de las fosas de separación agua-hidrocarburos, entre los cuales se mencionan los siguientes:

- Volumen de hidrocarburos producto de la fuga del equipo.
- Tiempo de duración del evento.
- Gasto de agua para el evento.
- Frecuencia con que ocurre.
- Precipitación pluvial de la zona.
- Topografía del terreno.

A manera de ejemplo, a continuación se muestra en la Figura 22, un cálculo del volumen de agua aceitosa que puede ser obtenida en el caso de la fuga de un equipo.

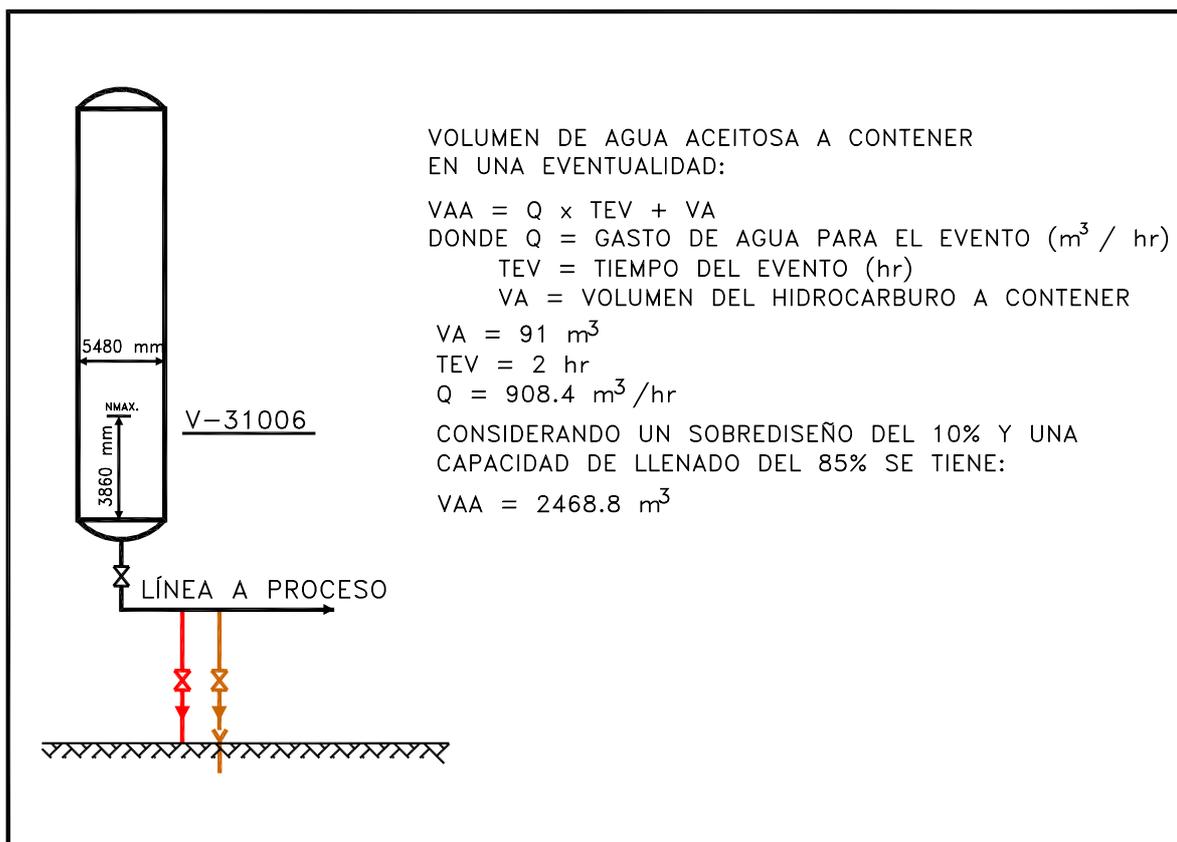


Figura 22. Fuga de equipo.

CAPÍTULO III.

La diferencia entre las dimensiones obtenidas, cuando se desarrolla el diseño de la fosa tomando en cuenta unos u otros factores, así como la variación de valores de los mismos (mayor o menor tiempo de duración, precipitación pluvial, consideraciones de frecuencias, etc.), refleja impactos económicos en las inversiones requeridas para el desarrollo de la infraestructura del tratamiento de las aguas residuales aceitosas, esto se puede apreciar en las Figuras 21 y 23.

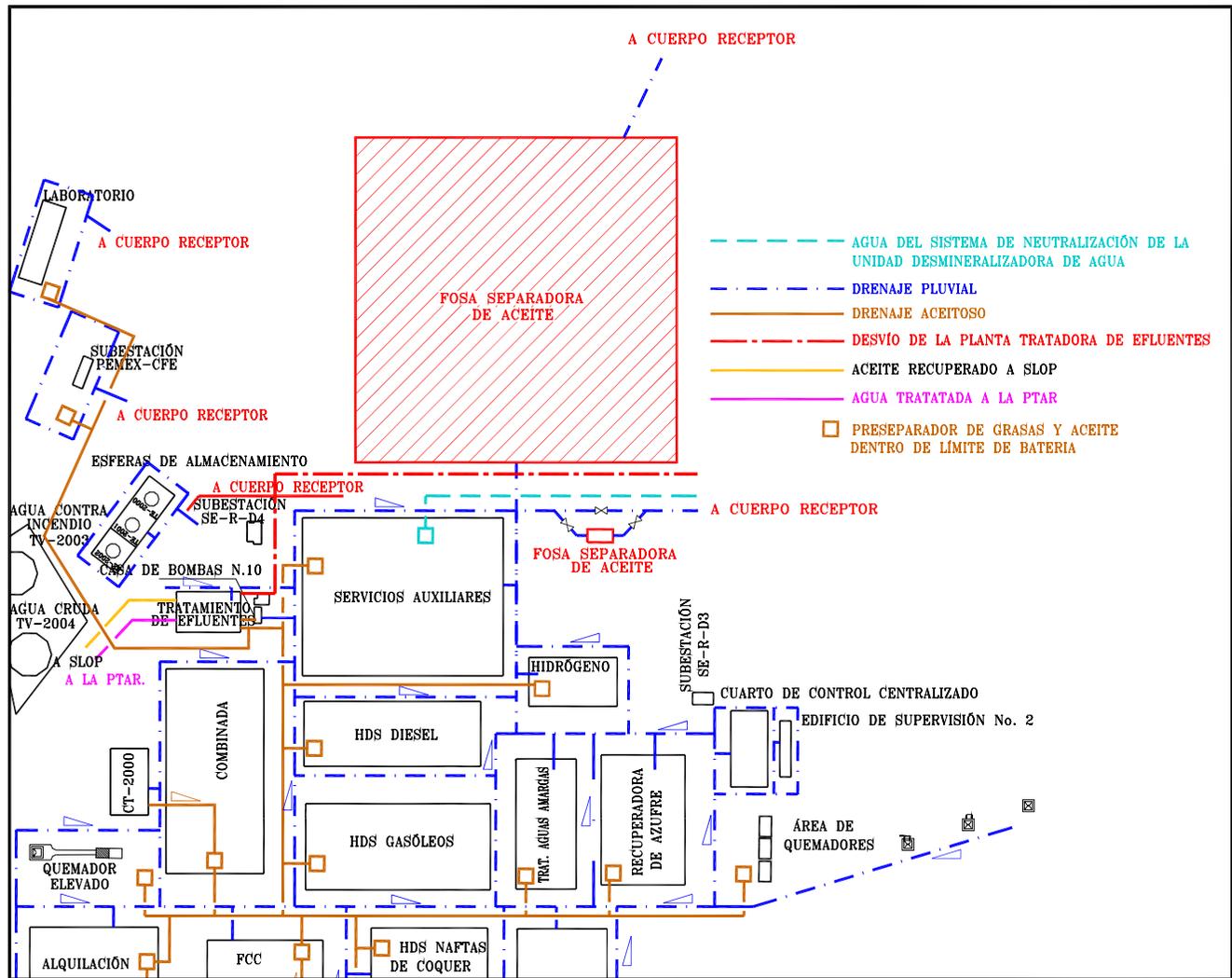


Figura 23. Área de fosa de retención de lluvia por gravedad.

CONCLUSIONES.

De acuerdo a lo establecido en el manejo de los efluentes de la red de drenajes aceitosos de los procesos de refinación, se determina lo siguiente:

- El contenido de hidrocarburos en las aguas residuales que emiten las áreas de proceso de una refinería, pueden ser abatidos llevando a cabo la implementación de un sistema de gestión ambiental, que en el presente caso, se dirige principalmente a los siguientes aspectos:
 - Segregación de purgas, corrientes de lavado de equipo, y drenaje pluvial.
 - Implementación de sistemas cerrados de recuperación de hidrocarburos.
 - Evitar la contaminación del agua pluvial de calles y áreas de proceso.
 - Eliminación de la dilución de contaminantes.
 - Recuperación de hidrocarburos.
- La recuperación de hidrocarburos es importante debido a que el contenido de estos en las aguas residuales ocasiona pérdidas económicas causadas por los requerimientos para proporcionar tratamientos adecuados a que deben ser sometidos los efluentes que los contienen y cumplir con la normatividad ambiental vigente, las pérdidas económicas también son reflejo de las pérdidas materiales que no han sido incorporadas en el producto final.
- Las descargas de aguas residuales sin tratamiento adecuado para cumplir con la legislación ambiental vigente ocasionan grados variables de contaminación en aguas y bienes nacionales, limitando el uso directo del agua y representando un riesgo a la salud.
- Evitar la dilución de los contaminantes es un factor importante para la determinación de la capacidad de tratamiento de aguas residuales, ya que al obtener menor volumen de agua residual aceitosa con una concentración mayor, permite tener infraestructuras que ocupen menor área en las instalaciones y obtener mayor eficiencia en el tratamiento.

RECOMENDACIONES.

- Realizar la segregación de drenajes aceitoso y pluvial en la fuente que los genera, es decir, dentro de límites de batería de las áreas.
- Clasificar las corrientes de drenajes aceitosos de acuerdo a su contenido de hidrocarburos para su integración a los diferentes destinos o tratamientos.
- Evitar mezclar los drenajes aceitoso y pluvial de las instalaciones existentes con las nuevas.
- Implementar mejoras en las prácticas de operación, evitando los derrames de hidrocarburos.
- Implementar programas de mantenimiento en las instalaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- 1) The enviromental impact of refinery effluents;
CONCAWE Report no. 5/79;
R.H. Jenkis,
M.T. Westaway; y otros
August 1979
- 2) Trends in oil discharged with aqueous effluents from oil refineries in Europe; 2000 survey;
CONCAWE Report no. 4/04
P.K. Chown
D.E. Martin
March 2004
- 3) Best available techniques to reduce emissions from refineries
CONCAWE Document no. 99/01
E. Martin
H. Schipper
May 1999
- 4) Refining Petrochemicals and Gas Processing Techniques
Industrial Water Treatment;
Institut Francais du Petrole;
F. Berné
J. Cordonnier
Gulf Publishing Company,
1995
- 5) Introducción a la Ingeniería Ambiental para la Industria de procesos;
Universidad de Concepción
Dr. Claudio Alfredo Zaror Zaror
Departamento de Ingeniería Química,
Facultad de Ingeniería
Concepción, Chile
Diciembre 2000
- 6) Tratamiento de aguas residuales;
Rubén S. Ramalho
Faculty of Science and Engineering
Laval University
Reverté, S.A.

- 7) Apuntes del Diplomado en Auditoria Ambiental,
Módulo de Evaluación de Impacto Ambiental
Ing. Marisol Pasalagua Palacios
UNAM
2005-2006
- 8) Apuntes del Diplomado en Auditoria Ambiental;
Módulo de Legislación Ambiental;
Dra. María del Carmen Carmona Lara
UNAM
2005-2006
- 9) Apuntes del Diplomado en Auditoria Ambiental;
Módulo de Control de Efluentes y Normatividad Vigente;
Dr. José S. Sámano Castillo
UNAM
2005-2006
- 10) La Industria Petrolera ante la regulación jurídico ecológica
Instituto de Investigaciones Jurídicas
Serie G: Estudios Doctrinales, no.134;
Silvia Vega Gleasón;
María del Carmen Carmona;
Y otros
Universidad Nacional Autónoma de México
Petróleos Mexicanos
UNAM
1992
- 11) Constitución Política de los Estados Unidos Mexicanos,
Art. 4, 25 y 27
Diario Oficial de la Federación
Última modificación 5-diciembre-2006
- 12) Ley de Aguas Nacionales,
art. 7, 85 al 88 bis I, 91 bis, 92 y 96 bis I;
Congreso de los Estados Unidos Mexicanos
Diario Oficial de la Federación
Última reforma publicada DOF 29-abril-2004

- 13) Ley General del Equilibrio Ecológico y la Protección al Ambiente,; capítulo III, art. 117 al 123;
Congreso de los Estados Unidos Mexicanos
Diario Oficial de la Federación
Última reforma publicada DOF 23-febrero-2005
- 14) Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996
Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Diario Oficial de la Federación
30-octubre-1996
- 15) Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996
Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Diario Oficial de la Federación
9-diciembre-1997
- 16) Norma Oficial Mexicana NOM-003-ECOL-1996
Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
Diario Oficial de la Federación
22-abril-1998
- 17) NRF-140-PEMEX-2005, Rev. 0.
Sistemas de Drenajes
Comité de Normalización de Petróleos Mexicanos y Organismos Subsidiarios
Subcomité Técnico de Normalización de Petróleos Mexicanos
17-septiembre-2005
- 18) DG-GPASI-SI-2703, Rev. 1
Norma de Seguridad para drenajes en las áreas industriales de PEMEX Refinación
PEMEX-Refinación
Gerencia de Protección Ambiental y Seguridad Industrial
Documento Normativo
Enero-1999.
- 19) Informe Anual 2001, PEMEX
Informe Anual 2002, PEMEX
Informe Anual 2005, PEMEX