

24/
101

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO



Facultad de Ingeniería

" CONTAMINACION Y TRATAMIENTO DE LAS AGUAS
RESIDUALES PROCEDENTES DE REFINERIAS "

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

P R E S E N T A :

MARIO JIMENEZ VELASCO



CD. Universitaria

1986



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está 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.

I N D I C E

	PAGINA
CAPITULO I INTRODUCCION	1
CAPITULO II EL AGUA	6
II.1 Introducci3n,6	
II.2 Fuentes de Abastecimiento,6	
II.3 Tratamientos Correctivos Primarios al - Agua Cruda,9	
II.3.1 Desechos generados,12	
II.4 Administraci3n del Agua en Refinerias,12	
CAPITULO III ASPECTOS LEGALES	18
III.1 Introducci3n,18	
III.2 Normas Generales,18	
III.3 Efectos de las Normas,21	
CAPITULO IV CONTAMINANTES TIPICOS Y FOCOS DE EMISION EN REFINERIAS	23
IV.1 Introducci3n,23	
IV.2 Contaminantes y Procesos T3picos,23	
IV.3 Contaminaci3n por Otros Procesos,24	
IV.3.1 Tratamientos de agua cruda,25	
IV.3.2 Torres de enfriamiento,25	
IV.3.3 Tratamientos de aguas residuales,26	
IV.4 Incorporaci3n al Medio Ambiente,26	
IV.5 Vol3menes de Contaminaci3n por Proceso,26	
CAPITULO V PUNTOS DE CONTAMINACION	32
V.1 Introducci3n,32	
V.2 Ecosistema Acu3tico,32	
V.3 Caracteristicas de las Aguas Naturales,34	
V.4 Efectos de los Desechos,36	
V.5 Contaminantes y Toxicidad,45	
V.6 Comportamiento de un Cuerpo Receptor,49	
CAPITULO VI METODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESI - DUALES EN REFINERIAS	51
VI.1 Introducci3n,51	
VI.2 Tratamientos en Planta,52	
VI.2.1 Agotamiento de aguas amargas,53	
VI.2.2 Sosas gastadas,54	
VI.3 Segregaci3n de Drenajes,55	
VI.4 M3todos de Tratamiento F3sicos,55	

	PAGINA
VI.5 Métodos de Tratamiento Químicos,60	
VI.6 Métodos de Tratamiento Biológicos,66	
CAPITULO VII TRATAMIENTOS PRIMARIOS	78
VII.1 Introducción,78	
VII.2 Separador por Gravedad Agua-Aceite,78	
VII.3 Flotación con Aire Disuelto,84	
CAPITULO VIII TRATAMIENTOS QUIMICOS	94
VIII.1 Introducción,94	
VIII.2 Neutralización,94	
CAPITULO IX TRATAMIENTOS BIOLOGICOS	98
IX.1 Introducción,98	
IX.2 Lagunas Aereadas,99	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	113
BIBLIOGRAFIA	116

CAPITULO I

INTRODUCCION

La industria petrolera en general, ha sido considerada tradicionalmente, como uno de los rubros industriales que más afectan al medio ambiente a través de desechar a éste, substancias que han variado tanto en cantidad como en toxicidad, conforme se ha ido desarrollando la industria; si bosquejamos de manera somera el desarrollo de la industria, observaremos, que la parte de ésta -- que ha contribuído en mucho a la generación de contaminantes al tamente tóxicos, es la que corresponde a lo que se denomina Refi nación del Petróleo Crudo.

-Refinación

La industria de refinación, es dentro de la petrolera, la que ha experimentado mayor evolución; así tanto ha evolucionado, que a partir de ella, se ha desarrollado otra industria, que es: La Pe troquímica.

La industria de refinación se desarrolla para dar respuesta a las necesidades energéticas que la industria plantea, a partir de la Revolución Industrial, al requerir combustibles más efi -- cientes y menos escasos que los utilizados en el principio; los cuales fueron, la madera y el carbón de madera; la esperma de ballena y la hulla, son otros combustibles que poco después fueron usados; especialmente la hulla, de la cual se usó específicamente su destilado, o sea el carbón de coque, que al ser usado como com bustible industrial, se convierte en el primer generador de contaminantes atmosféricos, dadas las cantidades de óxido de cárbo no, de nitrógeno y de azufre producto de su combustión. Estos com bustibles eran usados por países de incipiente desarrollo indus trial; como Inglaterra en Europa y los Estados Unidos en América En 1857 se perfora en Pensilvania Estados Unidos el primer pozo de petróleo, y se inicia así la era petrolera; desarrollándose --

como industria, lo referente a éste. El petróleo desplaza a los combustibles originales tanto en el uso industrial como en el doméstico agregándose como una subatancia contaminante más. A partir del descubrimiento de esta substancia como combustible, se empiezan a desarrollar métodos de obtener combustibles derivados, así en 1860 se funda en Pensilvania E.U. la primera refinería de petróleo y se comienzan a utilizar derivados de éste como la querosina para suministro de energía. Durante estos primeros años de la industria de refinación en E.U., los procedimientos de obtención de productos y su separación eran puramente físicos y los contaminantes que se producían eran los propios hidrocarburos de desecho o los regados accidentalmente, la salmuera separada del crudo y los gases de purga, que contenían compuestos de azufre, substancias minerales y orgánicas. En 1861, se descubre accidentalmente la destilación destructiva (Cracking) y substancias orgánicas de doble o triple ligadura, así como los polímeros, se incorporan a la familia de contaminantes originados ya por la industria de destilación del petróleo.

Operaciones complementarias en esta industria como la condensación de productos y el enfriamiento de otros usando agua implicó la contaminación térmica de ésta. El desarrollo de los tratamientos químicos en los procesos de refinación, introduce finalmente los reactivos fuertemente agresivos a la familia de los contaminantes provenientes de una refinería, así como la sosa y el ácido sulfúrico hacen su aparición. La creación de otros procesos como los de alquilación y polimerización, hace aumentar los contaminantes con ácido fluorhídrico y ácido fosfórico, hasta llegar a los desechos sólidos, como los catalizadores, que son de más reciente introducción al grupo de substancias contaminantes. A la par de los progresos en la refinación del petróleo, se fueron obteniendo avances en los tratamientos de agua, que tam-

bién son origen de contaminantes sólidos, o líquidos, como la sosa cáustica o el ácido sulfúrico, provenientes de el regenerado de la zeolita y otros de uso tan antiguo como la cal. Aún en la actualidad, la disposición final de desechos sólidos, constituye un problema, y en este caso se encuentran los lodos de calderas. En refinerías donde se tienen procesos de recuperación de parafinas y de elaboración de grasas y lubricantes, el número de -- sustancias se ve aumentado por solventes tales como la metil-Etil cetona, además de aditivos de constitución compleja, aún y -- cuando los volúmenes utilizados sean pequeños. En 1929 se empieza a utilizar el tetraetilo de plomo como sustancia antideto_ nante para la producción de gasolinas de alto octano que requie ren los vehículos de alta potencia y se introducen las sales or gánicas de plomo como contaminantes del agua, del suelo y de la atmósfera.

En México la industria petrolera se inicia en el último cuarto del siglo XLX, con la fundación en el puerto de Veracruz de una refinería con capacidad de proceso de 500 barriles diarios de petróleo procedente de E.U., en 1896 se funda otra refinería ubi cada entre el río Pánuco y la ciudad de Tampico, con capacidad de proceso de 2000 barriles diarios de petróleo crudo importado de E.U. Aunque ya para estos momentos, muchos de los procesos refineros habían sido descubiertos, en México no se aplicaban aún ya que aquí el petróleo solo se procesaba para obtener querosi na. El petróleo no se explotaba de pozos, sino de chapopoterías; es en la población de Ebano ubicada en el estado de San Luis Poto sí donde verdaderamente principia la historia del petróleo en México al perforarse el primer pozo de petróleo, con capacidad de producir 500 barriles diarios; solo hasta 1903 se construye en Ebano SLP otra refinería que fue la primera en México dedica da a producir asfalto, con capacidad de proceso de 2000 barriles

diarios. En 1906 se funda en el río Coatzacoalcos, cerca de Minatitlán una planta experimental con laboratorio químico para estudio del petróleo. En 1903 la refinera el Aguila empieza a elaborar productos para el comercio; así en el año de 1921 la producción alcanzaba 193 millones 397,586 barriles al año México ocupaba así el segundo lugar a nivel mundial como productor. En estos momentos si ya se habían introducido en México procesos refineros más sofisticados y se introducían en México contaminantes como obviamente, el petróleo crudo, la salmuera del petróleo, el ácido sulfhídrico, los óxidos de azufre, los óxidos de carbono y las aguas a altas temperaturas.

Realmente la época moderna en cuanto a refinación y explotación del petróleo en México, comienza poco después de la expropiación petrolera. En 1946 se pone en servicio la nueva refinera de Azcapotzalco, con capacidad de proceso de 50,000 BPD; en 1950 se pone en servicio la refinera de Salamanca con capacidad de proceso de 30.000 BPD, se producen aquí ya nuevos productos, como gasolina, diesel, petróleo-combustible y gas licuado, además de la que rosina. En 1956 se inaugura la nueva refinera de Minatitlán, con capacidad de 50,000 BPD, incluyendo la primera planta de desintegración catalítica que se instaló en México; se construyen más tarde otras refineras, entre ellas la Miguel Hidalgo en Tula-- estado de Hidalgo. Se descubren nuevos yacimientos y la producción petrolera llega en 1983 a 2,746 383 EPD. De esta manera se instala en México la industria refinera moderna con todos los adelantos tecnológicos del siglo y con su carga de desechos contaminantes.

La generación de toda la gama de contaminantes refineros, se incorporaban hasta hace algunos años indiscriminadamente al medio pero esto ocasionó daños graves, principalmente a ecosistemas acuáticos.

La observación de los daños ocasionados a ecosistemas acuáticos como el río Pánuco en Tamaulipas, el Coatzacoalcos y el Cazones- en Veracruz, el Grijalba en Tabasco y otros, ha hecho ver que los desechos sólidos, líquidos y gaseosos no deben seguir desechandose al medio sin control y que deben tomarse las medidas preventivas necesarias para que el deterioro causado al medio ambiente no llegue a ser irreversible.

CAPITULO II

EL AGUA

II.1-Introducción

El agua es un recurso natural invaluable, es y seguirá siendo -- una necesidad irremplazable tanto para propósitos industriales como para propósitos municipales. En la industria, el agua se usa en tan vastas cantidades, que tanto en sus cantidades netas como en los tonelajes totales, sobrepasa por mucho a cualquier otro material. Se requieren más de 250 ton de agua, para fabricar una de acero; sobre 700 ton. para fabricar una tonelada de papel; más de 1200 ton para hacer una tonelada de aluminio; para obtener un barril de petróleo refinado, se usaron en promedio 945 litros. Esta lista se puede proseguir y se verá que prácticamente en cualquier industria el mayor tonelaje de material usado es el agua. En México hasta el año de 1983 se encontraban en operación 9 refinarias; suponiendo que cada una produce 100,000 BPD; el agua usada serán 94.5 millones de litros/día. De aquí que siendo el agua una substancia fundamental para cualquier proceso industrial, sea también uno de los materiales más susceptibles de contaminarse.

II.2-Fuentes de Abastecimiento

Estas pueden ser:

a) Aguas superficiales

Estas aguas pueden ser las de ríos, lagos o lagunas. Estas constituyen en su mayor parte de agua de lluvia, su composición puede variar en diferentes períodos, mostrando cambios con las estaciones del año y con las lluvias; puede presentar cambios en su temperatura, contener materia orgánica, materia suspendida, organismos, etc.

b) Aguas subterráneas

Estas aguas pueden ser de manantiales o pozos; las aguas de pozos poco profundos pueden ser blandas o duras; dependiendo de la composición del área que les rodea. La filtración natural, hace que estas aguas estén libres de turbidez y de materia orgánica. En general el agua de pozo es clara e incolora no así el agua de manantiales, los cuales pueden ser de aguas frías o de aguas con temperaturas altas, éstos pueden contener sólidos disueltos, y pueden también contaminarse con materia superficial.

c) Agua de mar

El agua de mar presenta las más altas concentraciones de sólidos disueltos y materia orgánica, de aquí que su uso esté limitado debido al alto costo de tratamiento, pues los métodos de evaporación instantánea requieren en la actualidad de enormes inversiones.

Ya que las mejores características las presentan las aguas de pozos profundos y ríos, estas fuentes son pues las más utilizadas por Petróleos Mexicanos.

Dependiendo de la ubicación y de la fuente de la que el agua sea obtenida, ésta presentará diferentes calidades que se manifestarán en los contenidos de sólidos disueltos, materia orgánica, etc. lo que redundará en problemas tales como: Corrosión, taponamientos, ensuciamiento, icrustaciones, crecimiento de bacterias, algas, etc. Todo lo cual implica pérdidas de tiempo y dinero: así antes de entrar a los procesos, el agua se tendrá que purificar ya que para propósitos industriales esta presenta impurezas que deben ser eliminadas.

Impurezas del Agua

Para propósitos industriales, las impurezas que pueden estar presentes en un agua natural, se pueden agrupar de la siguiente manera: 1) Substancias minerales disueltas, 2) Gases disueltos, 3) Turbidez, 4) Color y materia orgánica, 5) Sabores y olores y 6) Microorganismos. Que estas impurezas sean dañinas o no, depende de: 1) La naturaleza y cantidad de las impurezas naturales presentes, 2) Usos a los cuales esté destinada y 3) Tolerancias para cada caso en particular.

La figura (II) muestra lo anterior.

IMPUREZA	DIFICULTAD CAUSADA
Turbidez	Apariencia desagradable, depósitos en líneas de abastecimiento, equipo de proceso, y calderas
Dureza de calcio o de magnesio	Incrustaciones
Algas	Taponamiento, olor color
Oxígeno	Corrosión general y localizada
CO ₂	Corrosión
Alcalinidad (HCO ₃), (CO ₃) (OH)	Corrosión, incrustaciones
Acidez mineral libre (H ₂ SO ₄), (HCl)	Corrosión
Cloruros	Corrosión
Bacterias	Corrosión

Fig. (II) Impurezas Presentes en una Fuente de Agua Cruda

II.3-Tratamientos Correctivos Primarios al Agua Cruda

Este tipo de tratamientos es necesario mencionarlos, ya que son también fuentes productoras de aguas contaminadas.

Los tratamientos que a continuación mencionaremos se aplican a las aguas que provienen de las fuentes de abastecimiento que -- van a ser usadas en instalaciones de PEMEX, ya sea para consumo humano o para proceso. El tipo de tratamiento depende del tipo de agua y su composición. La fig(II e) menciona estos tratamientos.

A) Cal-Carbonato

Mediante este proceso de uso muy generalizado por su economía se remueve gran parte de la dureza ocasionada por las sales de calcio y magnesio, especialmente cuando se lleva a cabo en caliente. Las unidades de este tipo, generan una emisión considerable de lodos, constituidos en su mayoría por carbonatos de calcio y de magnesio.

El proceso de cal en frío es considerado en parte un proceso de clarificación, aunque, se utiliza también para eliminar la dureza de las aguas; se consigue clarificación por este proceso a través de una reducción en los sólidos disueltos por causa de la adición de cal, que precipita el CaCO_3 . Se puede en algunos casos añadir coagulante.

El proceso genera cantidades de lodos que pueden azolvar los drenajes.

B) Clarificación

La clarificación se aplica como un pretratamiento a este tipo de aguas para eliminar sólidos suspendidos, turbidez y color, así como material coloidal. El proceso de clarificación incorpora coagulación, floculación y sedimentación. Cada uno es un proceso distinto. Se añaden coagulantes como son: El alumbre, --

arcillas o polielectrolitos. Sus desechos son usualmente aci-
dez química y lodos.

C) Plantas de Intercambio Iónico

Las más comúnmente usadas son las zeolitas ablandadoras o zeo-
litas sódicas y las unidades desmineralizadoras.

a) Zeolitas sódicas

Su uso puede complementar el tratamiento de cal-carbonato, -
para así tener un agua de mejor calidad, se tiene en este -
proceso un ciclo operativo de ablandamiento, retrolavado, re-
generación con salmuera y enjuague. El proceso permite la --
substitución total de los iones metálicos, principalmente de
calcio y de magnesio, por iones de sodio. La calidad del agua
emitida en el retrolavado y en la purga hace necesario uti-
lizar un sistema de segregación de drenajes; el agua que -
de aquí resulta puede ser alcalina, por lo que algunas veces
es necesario controlar el pH.

B) Desmineralización

La desmineralización, es un sistema de tratamiento modular que
está provisto de intercambiadores catiónicos y aniónicos, que -
en algunos casos, específicamente para el agua destinada a la-
generación de vapor, substituye al proceso de cal-carbonato. El
desplazamiento de los metales (cationes, calcio, magnesio y so -
dio productores de dureza) por hidrógeno permite una reducci-
ción de la dureza y sólidos disueltos, a valores muy bajos y -
obtiene agua para calderas de gran calidad.

La operación de desmineralización puede producir efluentes --
con valores de pH de entre 1 y 2 que requerirán neutraliza -
ción posterior.

D) Desaereación

Además del tratamiento convencional externo a base de calenta -
miento del agua y desprendimiento de los gases disueltos -

en un recipiente que opera a presiones menores que la atmosférica, PEMEX utiliza en sus calderas uno interno para eliminar el O_2 residual y el CO_2 desprendido en la generación de vapor mediante la aereación de reactivos químicos del tipo hidrazina de sodio.

E) Interno de Calderas

El tratamiento interno de calderas, se efectúa para ajustar la dureza residual del agua y la naturaleza de los lodos formados en el interior de las calderas a las especificaciones recomendadas en los generadores de vapor.

F) Control de Alcalinidad

Se refiere al acondicionamiento del agua circulada en las torres de enfriamiento, para evitar la deslignificación de la madera y corrosión o incrustaciones en el equipo; generalmente consiste en la dosificación de ácido sulfúrico para el control del pH y la adición de agentes anticorrosión, se añaden por lo general cromatos, polifosfatos, o zinc.

G) Control Biológico

Este se aplica de modo general a las aguas destinadas para usos industriales como también para la potable; en las torres de enfriamiento se usa como biocida el cloro para eliminar algas y hongos.

H) Potabilización

Depende de las características del agua, pero en general consta de lo siguiente: Aereación, sedimentación, filtración y clorinación.

La fig. (II f) muestra los tratamientos aplicados al agua cruda a usarse en procesos o en servicios en la refinería Miguel Hidalgo en Tula.

El proceso muestra la llegada del agua a una unidad de tratamiento de cal en frío, la cual funciona como ya se describió. La-

planta consta de un reactor floculador, con 3 filtros y un tanque de aguas claras. Esta fase del proceso disminuye el consumo de reactivos en la planta de desmineralización. Después de este proceso continúa el de desmineralización, llegando el efluente del proceso a los tanques de almacenamiento y de aquí a las calderas.

El proceso de potabilización, usa como clarificador y ablandador al proceso de cal en frío y después pasa por un filtro de carbón, añadiéndose el cloro.

El agua de enfriamiento puede en un momento dado llegar directamente del pozo o pasar antes por el proceso de cal en frío. El agua de contraincendio si puede usarse directamente como viene de la fuente; ya que no requiere gran calidad.

II.3.1-Desechos generados

Como se indicó, los procesos de tratamiento al agua cruda originan desechos y son por lo tanto la primer fuente de contaminación del agua. La figura (II g) muestra el proceso de tratamiento y sus desechos.

II.4-Administración del Agua en Refinerías

El agua en refinerías se usa generalmente para las actividades básicas siguientes:

- A) Agua para torres de enfriamiento
- B) Agua para procesos (lavado, dilución, inyección al crudo)
- C) Repuesto de los generadores de vapor
- D) Servicios

El mayor uso del agua es para enfriamiento, relativamente pequeñas cantidades son usadas para servicios sanitarios, protección contra incendio, y un poco en mayores cantidades alimentación a calderas y procesos.

En la industria refinera, muy pocos procesos utilizan el reuso -

del agua, por lo que el gasto de agua es bastante alto.

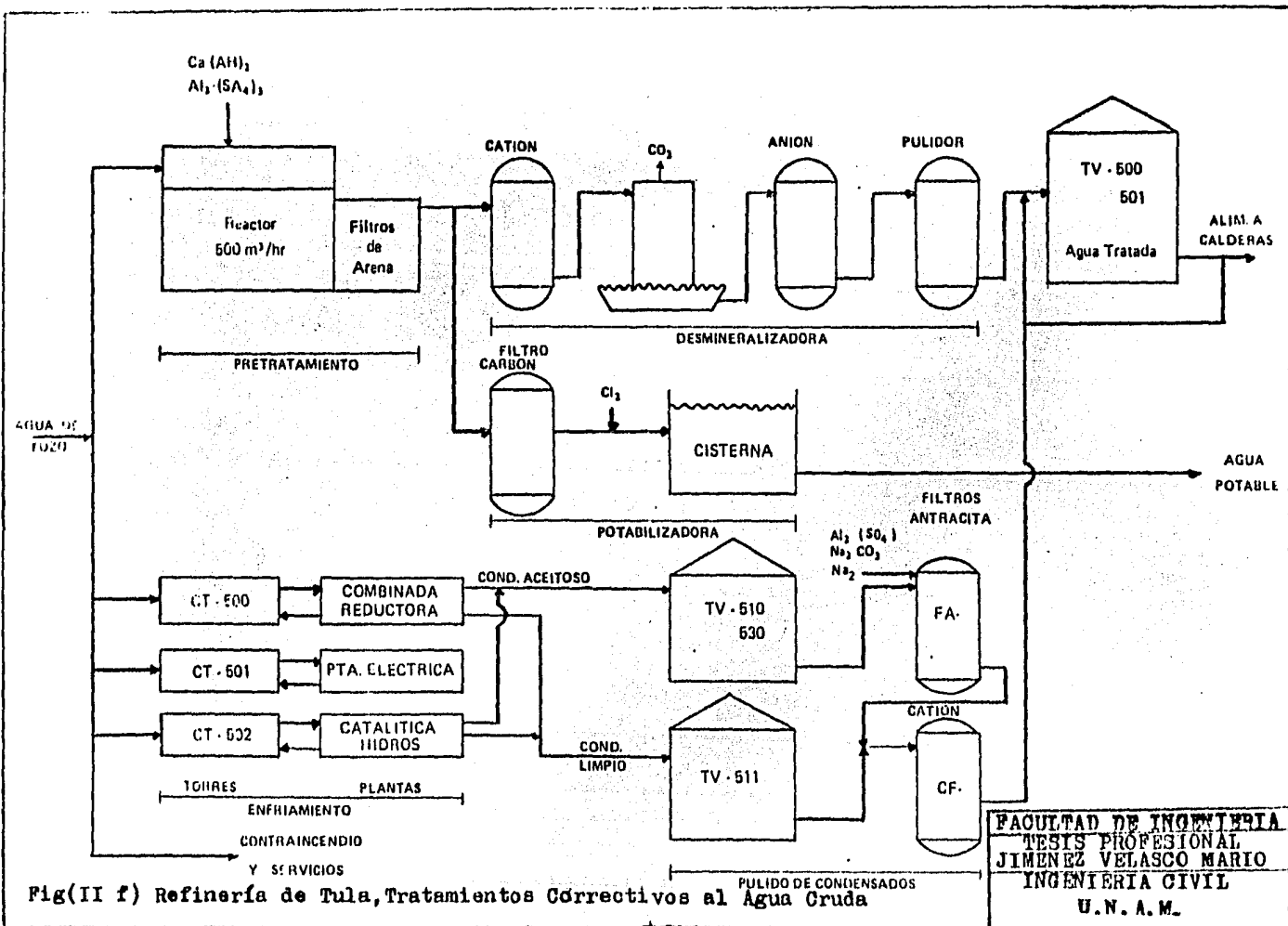
La figura (II h) muestra la utilización del agua en refinerías.

Un resumen de los datos contenidos en esa figura se dan en lo que sigue:

<u>USOS</u>		<u>AGUA DESECHADA</u>
55.4% Repuesto torres de enfriamiento		34.4% Pérdidas Evaporación
20.5 % Agua para procesos		20.5% Desechos de proceso
21.1% Calderas		9.6% Desechos de condensados
	50.6%	18.1% Desechos torre de enfriamiento
3% Servicios		12.0% Pérdidas Evaporación
		3.0% Servicios

SERVICIO	TRATAMIENTO	
GENERACION DE VAPOR	EXTERNO	CAL-CARBONATO ZEOLITAS SODICAS DESMINERALIZACION
	INTERNO	DESAREACION ACONDICIONADO DE LODOS
ENFRIAMIENTO	PRETRATAMIENTO	CLARIFICACION
	DIRECTO	CONTROL DE ALCALINIDAD CONTROL BIOLÓGICO
POTABLE	POTABILIZACION	AEREACION SEDIMENTACION FILTRACION CLORINACION

fig.(II e) Tratamientos Aplicados a las Aguas Destinadas a
Procesos de Refinación del Petróleo



Fig(II f) Refinería de Tula, Tratamientos Correctivos al Agua Cruda

FACULTAD DE INGENIERIA
 TESIS PROFESIONAL
 JIMENEZ VELASCO MARIO
 INGENIERIA CIVIL
 U. N. A. M.

<u>PROCESO DE TRATAMIENTO</u>	<u>DESCRIPCION DESECHOS</u>	<u>VOLUMEN DEL DESECHO EN % DE Q</u>
Sedimentación	Arenas y barro	5-10%
Clarificación	Normalmente lodos y acidez, así como materia sedimentada	2-5
Ablandamiento con cal en frío	Lodos alcalinos	2-5
Ablandamiento con cal en caliente	Lodos alcalinos	2-5
Filtración	Lodos, sólidos-- suspendidos	2-5
Ablandamiento con zeolitas	Cloruro de calcio y sodio	4-6
Desmineralización	Sólidos disueltos más regenerantes; (ácido sulfúrico)	10-14
Procesos internos	Químicos que son añadidos directamente. Vapor contaminado de el - tratamiento in - terno	10-14

Fig.(II g) Desechos Generados por el Proceso de Tratamiento

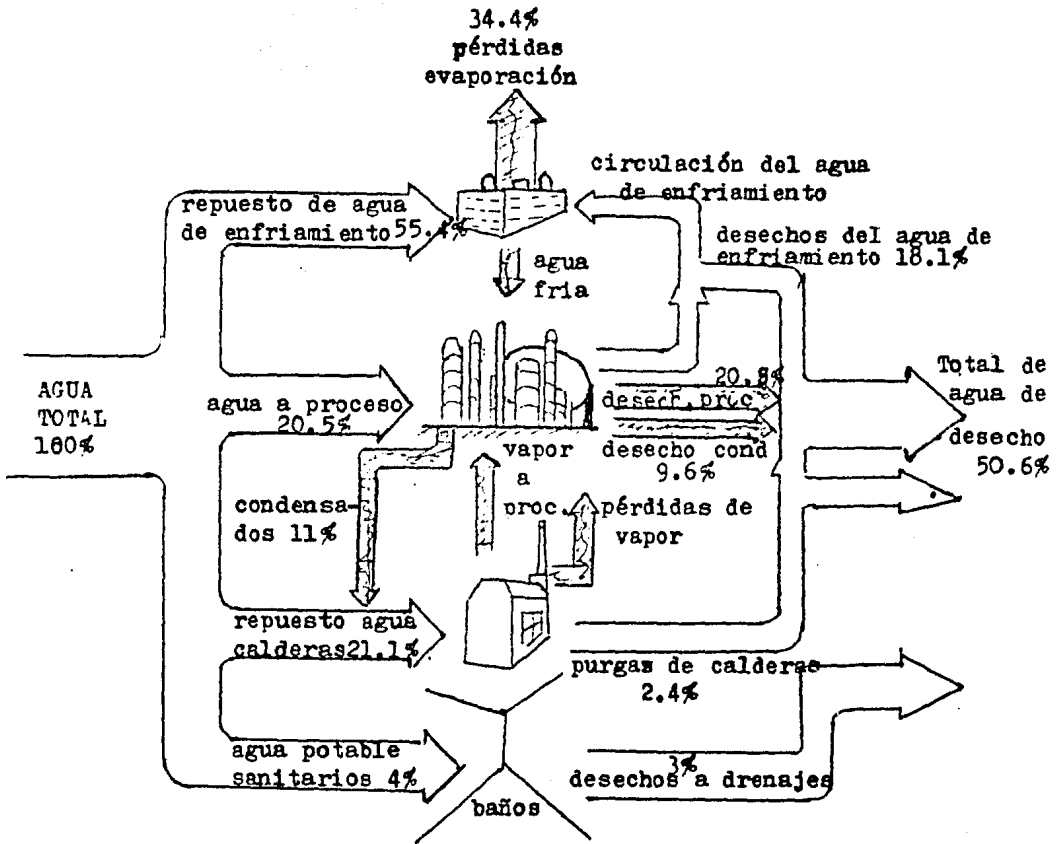


Fig.(II h) Diagrama de Utilización del Agua en Refinerías

CAPITULO III

ASPECTOS LEGALES

III.1-Introducción

El hombre como ser transformador de la naturaleza genera por efecto de esta transformación, una carga de desperdicios, desechos y residuos que no se han podido ni sabido manejar adecuadamente lo que ha ocasionado la degradación del entorno humano afectando la calidad del agua, del aire y del suelo.

Hace poco tiempo que se ha comprendido que la afectación del medio ambiente por desechos, influye negativamente en la salud, la flora, la fauna y los bienes públicos y privados; así tratando de asegurar la pureza del medio ambiente, se han dictado normas que indican las cantidades permisibles de sustancias que se pueden arrojar al ambiente sin peligro de deteriorarlo en exceso.

III.2-Normas Generales

A fin de prevenir y controlar la contaminación de aguas, se han dictado normas en el país, que de alguna manera indican las características que debe cumplir una descarga de agua residual; en este caso industrial. El día 23 de marzo del año de 1971 se publica la Ley para Prevenir y Controlar la Contaminación Ambiental; el 29 de marzo de 1973 se publica el Reglamento para la Prevención y Control de la Contaminación de Aguas, que complementa a la Ley dictando normas para el cumplimiento de esta. Por ahora rige en el país la Ley Federal de Protección al Ambiente que se publicó el 11 de enero de 1982 y que por mientras se publica su reglamento, indica tomar como reglamento el del 29 de marzo de 1973.

Otras normas no específicamente referidas a la contaminación de aguas, pero que de alguna manera la previenen; son: los reglamentos sanitarios y la Ley de Obras Públicas y su Reglamento publi

cados en diciembre de 1980 y septiembre de 1981 respectivamente La Ley Federal de Protección al Ambiente, es la base legal que justifica los tratamientos correctivos aplicados a las aguas residuales antes de descargarlas al cuerpo receptor, al declarar en su Artículo 21 y en su Artículo 22 respectivamente que ...

"Se prohíbe descargar sin su previo tratamiento, en las redes colectoras ríos, cuencas, cauces, vasos y demás depósitos o corrientes de aguas, o infiltrar en terrenos, desechos, materiales radiactivos o cualquier otra sustancia dañina a la salud de las personas, a la flora o a la fauna o a los bienes. ..."

"Las aguas residuales provenientes de usos públicos domésticos, industriales o agropecuarios, que se descarguen en los sistemas de alcantarillado de las poblaciones o en las cuencas, ríos, cauces, vasos y demás depósitos, o corrientes, así como los que por cualquier medio se infiltren en el subsuelo y en general, las que se derramen en los suelos, deberán reunir las condiciones necesarias para prevenir:

- I. Contaminación de los cuerpos receptores;
- II. Interferencias en los procesos de depuración de las aguas, y
- III. Trastornos, impedimentos o alteraciones, en los correctos aprovechamientos, o en el funcionamiento adecuado de los sistemas y en la capacidad hidráulica en las cuencas, cauces, vasos, mantos acuíferos y demás depósitos de propiedad nacional, así como de los sistemas de alcantarillado.

Para descargar aguas residuales deberán construirse las obras e instalaciones de-

tratamiento que determine la..."

Para cumplir con las disposiciones anteriores, el Reglamento de la Ley indica en su Artículo 6 que ...

"Para preservar y restaurar la calidad de los cuerpos receptores, deberá realizarse, en los términos - de este reglamento, mediante los siguientes procedimientos:

I. Tratamiento de las aguas residuales para el control de sólidos sedimentables, grasas y aceites, - materia flotante, temperatura y potencial hidrógeno (pH);..."

A fin de que se cumpla con las disposiciones anteriores, el reglamento marca contenidos máximos tolerables y clasifica las - aguas de los cuerpos receptores en función de sus usos y características de calidad.

Para el caso de las descargas de aguas residuales de refinerías de los parámetros que indica el reglamento nos interesan los - que se muestran en la figura (III). Como se puede inferir, en la - figura, algunos parámetros que son de importancia para el caso - de los efluentes de refinerías no los indica el reglamento, por lo que la figura se complementa con normas PEMEX y normas EPA - (Agencia de Protección Ambiental de los E.U.). Aunque los reglamentos marcan límites en cuanto a cantidades permitidas de contaminantes que pueden ser vertidas en aguas naturales, y aunquedan también características de calidad de los cuerpos receptores; siempre es conveniente conocer en cada centro refinero la - composición de el efluente y la composición de las aguas naturales a las que se va a incorporar este efluente a causa de que:

a) Las características de los efluentes varían dependiendo de - de las calidades de crudo procesado y de los procesos aplicados a la refinación de éste.

b) Las cantidades en las que muchos contaminantes son dañinos para los fenómenos naturales que se llevan a cabo en los cuerpos receptores, aún no se conocen completamente.

c) La composición de las aguas receptoras varía ampliamente; por ejemplo, la cantidad de sólidos disueltos en aguas dulces de los E.U. es la siguiente:

	En 5% de las aguas es menos que:	En 50% de las aguas es menos que:	En 95% de las aguas es menos que:
Sólidos disueltos totales	72.0	169.0	400
Bicarbonato, HCO_3	40.0	90.0	180.0
Cloruro, Cl	3.0	9.0	170.0
Sulfato, SO_4	11.0	32.0	90.0
Nitratos, NO_3	0.2	0.9	4.2
Calcio, Ca	15.0	28.0	52.0
Magnesio, Mg	3.5	7.0	14.0
Sodio, Na, y Potasio, K	6.0	10.0	85.0
Hierro, Fe	0.1	0.3	0.7

Sólidos Disueltos en Aguas Dulces

Como se observa las concentraciones varían en mucho, de ahí que las normas sólo se deban tomar como una guía.

III.3-Efectos de las Normas

La implementación de Leyes y Reglamentos tendientes a mejorar la característica de calidad de las aguas residuales vertidas a los cuerpos receptores ha influenciado en el ámbito industrial de manera benéfica; así se han desarrollado procesos de refinación que tienden a reducir los consumos de agua y su grado de contaminación; este cambio de la situación, queda perfectamente reflejado en los datos de la siguiente figura.

Tecnología	(lt/barril)	(gal/barril)	(gal/barril)	(gal/barril)
	DBO	Fenoles	Sulfuros	
Antigua	945	181	14	5
Actual	378	45	5	1,4
Avanzada	189	23	2,3	1,4

CONTAMINANTES MAXIMOS PERMITIDOS EN FUNCION DEL CUERPO RECEPTOR (S.A.R.H.)						
Parámetro	Efluente a cuerpo receptor PEMEX(2)	Efluente a cuerpo receptor E.P.A.(2)	(3) S.A.R.H. VALORES MAXIMOS PERMISIBLES			
			(1) Valores Maximos Tolerables	Cpo.Receptor Aguas superficiales	Cpo.Receptor Aguas de Estuarios	Cpo.Receptor Aguas Costeras
pH	4.5-10	5 - 10	4.5 - 10	5 - 9.5	5 - 9.0	Cond.natural +/-0.3-0.4
Temperatura ^{OC}	35	No indica	35	30	Condicionnatura +2.5	32
Oxígeno Disuelto mg/l	2.0	1.0 a 2.0	No indica	3.2 a 4.0	3.0 a 4.0	3.0 a 5.0
DBO5 mg/l	20, 160(8) 120(7)	20 a 100	No indica	No indica	No indica	No indica
DQO mg/l	100, 160(8) 120(7)	50 a 100	No indica	No indica	No indica	No indica
Sóli. Disuel. totales mg/l	3000	1500-3000 sin NaCl	No indica	<1000	(4)	No indica
Sóli. sedimentos ml/l	1.0	No indica	1.0	No indica	No sol. que consuman O ₂	No indica
Aceite y Grasa mg/l	70.0	5 a 30	70.0	76-1 (sin película visible)	Sin película visible	Sin película visible
Sulfuro/Desfertilizante mg/l	1.0/1a3	1/no indica	No indica	No indica/50	0.5/0.5	0.5/.001
NH ₃ /fecales mg/l	(6)/5.0	No indica/0.02 a 2	No indica	No indica/0.001	0.8/0.10	0.100/.001
Nutrientes mg/l	No Eutroficación	No indica	No indica	No Eutroficación	No Eutroficación	No indica
Metales tóxicos mg/l						
Cd mg/l	0.01	0.5-7	No indica	.005/.005/	0.01/.005/	.001/.0005/
Pb mg/l	0.05	mg/l		.05 a 1 mg/l	.01 a 1mg/l	.001a .01mg/l
Cr mg/l	5/5					
Cu mg/l	1/1					
Zn mg/l	5/10					
Fac. Coli MPN/100ml	300,000	No indica	No indica	200 fecales	200 fecales	≤70
Sólidos suspendidos mg/l	200(8) 150(7)	20 a 100	No indica	No indica	No indica	≤200

- (1) Los responsables de las descargas deberán cumplir con los parámetros en 3 años
(2) Máximos permitidos en las descargas de efluentes tratados
(3) Máximos permitidos en las corrientes de los cuerpos receptores
(4) No deberán hacerse cambios en la geometría de la cuenca o en las entradas de agua dulce
(5) Como promedio diario
(6) Estándar de calidad del Japón(21-VI-1971)
(7) Para la protección de la salud humana

Fig.(III)

CAPITULO IV

CONTAMINANTES TIPICOS Y FOCOS DE EMISION EN REFINERIAS

IV.1-Introducción

La refinación de petróleo crudo, podemos definirla como la actividad que se encarga de transformar el petróleo crudo en una serie de productos comercializables, a través de instalaciones y operaciones complejas; no todas las sustancias usadas en estas operaciones, ni las que de estas resultan, son de utilidad; así estas sustancias sin utilidad, resultan ser lo que denominamos de sechos del proceso, que al ya no tener utilidad tienen que ser eliminadas, esto se hace descargando, inyectando, vertiendo, arrojando o derramando el desecho a cualquiera de las únicas partes del medio ambiente en que lo anterior se puede hacer; estas partes son: El aire, el agua y el suelo.

Al eliminar sustancias y así incorporarlas al medio ambiente, éstas se convierten en contaminantes de él, y provocan lo que se denomina contaminación. Cada centro refinero presenta problemas específicos de contaminación, dependiendo del tipo de crudo que procese, de los procesos de refinación usados y de los sistemas de operación de las plantas.

Aunque cada centro refinero presenta problemas específicos de contaminación y formas propias de procesar el crudo; en general podemos decir que existen procesos y contaminantes típicos o comunes a todos los centros de refinación.

IV.2-Contaminantes y Procesos Típicos

Existen 14 procesos que podemos considerar como típicos y que contaminan el agua con las sustancias, temperatura y/o acidez o alcalinidad, que muestra la figura(IV).

Dentro de los procesos que enuncia la figura(IV) resalta el que corresponde a el de Desintegración Catalítica, ya que este proce

so es uno de los principales productores de las llamadas "aguas amargas"; las cuales contienen aceite, sulfuros, fenoles, amoníaco y mercaptanos; el proceso puede generar catalizadores gastados, que pueden producir monóxido de carbono.

Otro proceso que destaca es el de Secado y Endulzado, produce cáusticos gastados fenólicos o sulfhídricos; en la figura se observa que es uno de los más altos productores de agua residual, con alta DBO y DQO. Este proceso tiende a ser substituído por el de hidrodeseintegración, a causa de que los organismos contra la contaminación del aire aumentan sus esfuerzos para controlar la emisión de azufre a la atmósfera; así las restricciones de contenido de azufre en los combustibles se espera sean más rígidas.

Los procesos de polimerización y desencaramiento, pueden producir glicol, amina o metil-etil-cetona. El proceso de polimerización es en general un proceso sucio, en lo que se refiere a las cargas de contaminantes por barril de material cargado, pero la producción de desechos totales es pequeña a causa de la pequeña capacidad de polimerización. El proceso tiende a desaparecer.

Otros procesos que no se incluyeron en la figura son: La manufactura de cera, que cuando existe, es una fuente significativa de aguas residuales con contenidos de solventes y aceite; la manufactura de grasa es otro proceso que no produce desechos significantes. El proceso final en una refinería, es el que corresponde a mezcla y envase de productos, que es considerado como un proceso limpio, sólo puede haber contaminación por derrames o por lavado de contenedores de carros-tanque y autos-tanque.

IV.3-Contaminación por Otros Procesos

La operación de equipos como bombas, calderas, etc. produce también emisión de substancias al ambiente. Equipos de protección ambiental, como las antorchas ácidas o el incinerador Claus, son causa así mismo de contaminación. La figura (IV a) muestra el con

taminante y su foco de emisión.

IV.3.1-Tratamientos de agua cruda

Los prétratamientos aplicados a las aguas que provenientes de la fuente de abastecimiento serán usadas en la refinería, son la fuente primaria de contaminación del agua en refinerías; podemos hablar de:

a) Plantas de intercambio iónico

Este pretratamiento del agua alimentada a la refinería, ocasiona aguas residuales con contenidos de cloruro de calcio y de sodio que no presentan mayores problemas, ya que aunque su concentración sea alta, se diluye al mezclarse con el efluente total, se requiere para no contaminar esta agua con otras sustancias, un sistema de segregación de drenajes.

b) Unidades desmineralizadoras

Esta operación produce efluentes con ácido sulfúrico que disminuyen el pH a valores de entre 1 y 2. Una corriente de esta naturaleza es nociva para el sistema de drenajes y si llega a los equipos de tratamiento de efluentes, puede afectarlos seriamente, especialmente por corrosión del equipamiento mecánico.

c) Unidades de ablandamiento de agua

Estas generan emisiones considerables de lodos, constituidos en su mayoría por carbonatos de calcio y de magnesio, los cuales pueden provocar problemas de azolve en los drenajes.

Ya en el capítulo II mencionamos los desechos por proceso de tratamiento. Los que acabamos de mencionar son de los más usados

IV.3.2-Torres de enfriamiento

Si se revisa la figura (IV a) veremos que las torres de enfriamiento contaminan como ahí se dice con hidrocarburos. Las torres no son precisamente las contaminadoras en cuanto a hidrocarburos; ya que más bien el agua que la torre de enfriamiento recir-

cula a los equipos de proceso para su enfriado, es contaminada - por estos, con fenoles, aceites y sulfuros.

La torre de enfriamiento, sí contamina el agua, con inhibidores - de corrosión, como los cromatos, con biócidias y algicidas; y puede también ser fuente de contaminación térmica de las aguas.

IV.3.3-Tratamientos de aguas residuales

La contaminación debida a tratamientos aplicados a las aguas re - siduales la podemos encontrar desde los tratamientos aplicados - en planta a las llamadas "aguas amargas"; a éstas se les extrae el H_2S que contienen en solución; al extraerlo el H_2S se puede - quemar en calderas o en hornos de proceso, si esto sucede éste - se convierte en SO_2 que como el H_2S es también un gas tóxico -- que se emitirá a la atmósfera.

Los equipos de depuración de aguas residuales en general conta - minan con vapores de hidrocarburo y lodos aceitosos, como ejem - plo podemos citar a el separador agua-aceite API, las lagunas -- de oxidación, el proceso de lodos activados, etc.

IV.4-Incorporación al Medio Ambiente

Los muchos contaminantes que puede emitir una refinería se in - corporan al aire, al agua o al suelo.

Es conveniente enunciar adonde va cada contaminante para saber - que parte del medio ambiente se ve más afectada por una instala - ción Refinera. La figura (IV b) indica lo anteriormente dicho.

IV.5-Volúmenes de Contaminación por Proceso

La carga de desechos de cada proceso es necesario conocerla ya - que ésta en un momento dado indica el tipo de tratamiento a u - sar para depurar las aguas. Aunque hay que decir que en general - el tipo y grado de tratamiento de las aguas residuales se deter - mina por las características del efluente total y no por los de - sechos de cada proceso

Comúnmente las mayores fuentes de contaminación por desechos de el agua, son: El drenado de los tanques de almacenamiento, la desalación de crudo y la destilación del mismo. La figura (IV c) muestra las cargas de desechos y volúmenes de aguas residuales para procesos considerados fundamentales en la refinación del petróleo.

Proceso	Gasto	DBO	DQO	Fenol	Sul furos	Libre Aceite	Emulsi Aceite	pH	Temp	NH ₃	Clo ru ros	Aci dez	Al ca.	SS
Almacenamiento de Prods. y crudo	xx	x	xxx	----	----	xxx	xx	0	0	0	---	0	---	xx
Desalación de crudo	xx	xx	xx	x	xxx	x	xxx	x	xxx	xx	xxx	0	x	xxx
Destilación crudo	xxx	x	x	xx	xxx	xx	xxx	x	xx	xxx	x	0	x	x
Desintegra. térmica	x	x	x	x	x	x	---	xx	xx	x	x	0	xx	x
Desintegra Catalítica	xxx	xx	xx	xxx	xxx	x	x	xxx	xx	xxx	x	0	xxx	x
Hidrodesintegración	x	---	---	---	xx	---	---	---	xx	---	---	---	---	---
Reformación	x	0	0	x	x	x	0	0	x	x	0	0	0	0
Polimerización	x	x	x	0	x	x	0	x	x	x	x	x	0	x
Alquilación	xx	x	x	0	xx	x	0	xx	x	x	xx	xx	0	xx
Isomerización	x	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
Refinación solventes	x	---	x	x	0	---	x	x	0	---	---	0	x	---
Desenceramiento	x	xxx	xxx	x	0	x	0	---	---	---	---	---	---	---
Hidrotratamiento	x	x	x	---	xx	---	0	xx	---	0	0	0	x	0
Secado y Endulzado	xxx	xxx	x	xx	0	0	x	xx	0	x	0	x	x	xx

xxx=Mayor contribución
 xx=Moderada contribución
 x=Menor contribución
 0=No presenta problemas
 ---=No existen datos

Fig. (IV) Procesos y Contaminantes Típicos; Evaluación Cualitativa.

Contaminante	Foco
SO ₂	Calderas, hornos de proceso, regenerador de catalizador, antorcha de ácidos, incinerador de la unidad Claus, decoquizado de hornos
Hydrocarburos	Estaciones de carga, tanques de almacenamiento, tratamiento de aguas residuales, sistema de purgas/antorcha regenerador de catalizador, empaquetaduras de válvulas, bombas y compresores, cambios de discos ciegos, torres de enfriamiento, eyectores de vacío, soplado de líneas y purga de estas, purga de equipos, equipo de alta presión de hidrocarburos volátiles hornos de proceso, calderas, motores de combustión interna.
NO _x	Hornos de proceso, calderas, motores de combustión interna, regeneración de catalizadores, antorchas
Humos y partículas sólidas	Regeneración de catalizadores, calderas, hornos de proceso, decoquizado de hornos incineradores, antorchas
Aldehidos y Amoníaco	Regeneración de catalizadores
Olores	Drenajes, ventilación de tanques, equipo de vacío, tratamiento de aguas residuales.
CO	Regeneración de catalizadores, decoquizado, motores de combustión interna, incineradores.

Fig.(IV a)Otros Contaminantes y su Foco de Emisión

CONTAMINANTE	PUNTO DE CONTAMINACION		
	AIRE	AGUA	SUELO
Petróleo Crudo			X
Hidrocarburos	X	X	
Amoniaco	X	X	
Acido Sulfhídrico	X	X	
Benceno		X	
Cloro		X	
Potasa Cáustica		X	
Sosa Cáustica		X	
Butadieno	X		
Tetraetilo de Plomo		X	X
Metanol	X		
Dióxido de Azufre	X		
Acido Clorhídrico		X	
Monóxido de Carbono	X		
Etanolamina		X	
Acido Sulfúrico		X	
Cromatos		X	
Hidrazina		X	
Acetona		X	
Acido Acético		X	
Etilbenceno		X	
Fenol		X	
Furfural		X	
Propileno		X	
Oxidos de Nitrógeno	X		
Polímeros		X	
Salmuera del Petróleo		X	
Mercaptanos		X	
Amina		X	
Propano	X		
Ceras		X	
Catalizadores de Desint.		X	
Cal		X	
Aditivos de Lubricantes		X	
Salas Solubles(trat.de - aguas para proceso).....		X	
Temperatura		X	
Metales Pesados		X	
Salas Insolubles(trat.de- aguas para proceso).....		X	

Fig(IV b) Contaminantes y Parte del Medio Ambiente al que se Incorporan.

TECNOLÓGIA MODERNA

Proceso	Volumen del Proceso (Agua)	DBO	Fenoles	Sulfuros
	gal/barril	lbs/barril	lbs/barril	lbs/barril
Almacenamiento de Crudo y Productos	4	0.001	#	#
Desalado de Crudo	2	0.002	0.05	0.002
Fraccionación Crudo	10	0.0002	1.0	0.001
Desintegra. Térmica	1.5	0.001	0.2	0.001
Desintegra. Catalít.	5	0.010	5	0.003
Hidródesintegración	5	#	#	#
Reformación	6	t	0.7	0.001
Polimerización		No existe en esta tecnología		
Alquilación	20	0.001	0.1	0.020
Isomerización	#	#	#	#
Refinación Solventes	8	#	3	t
Desenceramiento	20	0.25	1.5	t
Hidrotratamiento	8	0.002	0.01	0.002
Desasfaltación	#	#	#	#
Secado y endulzado	40	0.05	10	#
Ceras Finales	#	#	#	#
Manufactura Grasa	#	#	#	#
Aceite Lub. Final	#	#	#	#
Manufactura Hidro:	#	#	#	#
Mezclado y Envasado	#	#	#	#

#=Datos no disponibles

t=Trazas

Fig.(IV c) Cargas de Desechos y Volúmenes por unidad o barril de Crudo Procesado

CAPITULO V

PUNTOS DE CONTAMINACION

V.1-Introducción

De lo enunciado en el capítulo anterior, se puede observar que los puntos del medio ambiente a los que van la mayor parte de los contaminantes, son: El agua, y el aire. En el agua los efectos-contaminantes, se han investigado en relación con la manera en la que cambian las características de las aguas receptoras; en el aire, los efectos contaminantes se conocen más en relación con la toxicidad de estos para con el ser humano.

El o los efectos de las descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, serán consecuencia no de una sustancia en particular; sino de la composición de las aguas residuales, que en general contienen no a un solo contaminante, sino a varios de ellos que en combinación pueden variar los efectos que producen a los ecosistemas a los que se incorporan.

Las sustancias contaminantes en aguas receptoras, desequilibran y afectan las relaciones que los seres vivos han desarrollado para vivir, como veremos en lo que sigue.

V.2-Ecosistema Acuático

Es conveniente enunciar las relaciones de vida que existen entre los seres vivos que habitan en el agua de cuerpos receptores como ríos, lagos, lagunas, océanos o mares, para así comprender mejor como se afectan estas relaciones al ingresar al ecosistema sustancias extrañas.

Desde los inicios de la vida en la tierra, el agua ha sido una sustancia indispensable para la vida. En ella se han desarrollado formas de vida complejas que para sobrevivir se rigen por leyes y principios tales como la cadena alimenticia. El conjunto de seres vivos que aquí habitan y el medio ambiente que los ro-

dea se denomina Ecosistema Acuático. Este para funcionar necesita de las siguientes unidades: I: Substancias abióticas (compuestos básicos, orgánicos e inorgánicos). II: Productores (Fitoplancton). III: Macrodepredadores o animales. :A) Herbívoros directos (Zooplancton). :B) Consumidores indirectos o comedores de detritos (invertebrados de los lodos). :C) Carnívoros (Peces). IV: Descomponedores o desintegradores. Esto se muestra gráficamente en la figura siguiente.

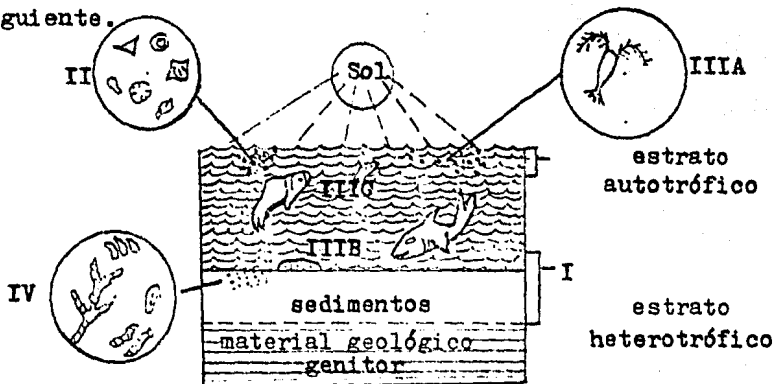


Fig.(V) Ecosistema Acuático

La figura (V a) muestra la cadena alimenticia del ecosistema. El primer eslabón que sostiene a todos los demás, corresponde a las algas y plantas verdes que por medio de la fotosíntesis, transforman el CO_2 y sales minerales, mediante la acción de la luz, en materia orgánica transmisible a otros niveles de la cadena alimenticia. El proceso por el cual este material es sintetizado se conoce como Productividad Primaria y a los organismos que en él participan (Fitoplancton, algas, plantas verdes) Productores Primarios siendo los demás eslabones de la cadena Consumidores a diferentes niveles primarios (Zooplancton herbívoro); secundarios (Consumidores de zooplancton); terciarios (Carnívoros).

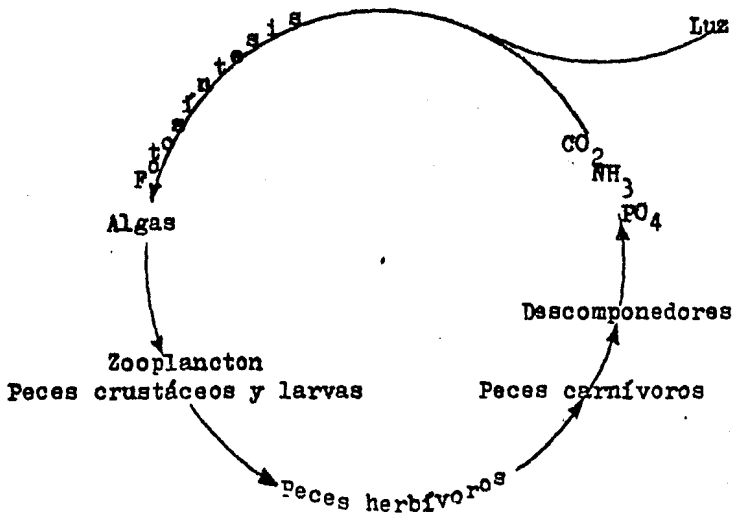


Fig.(v a) Cadena Alimenticia del Ecosistema Acuático

El funcionamiento de los ecosistemas acuáticos, se ve afectado - por los llamados factores limitantes. Los más importantes son:

- A) Temperatura: Influye en la concentración de gases disueltos
- B) Transparencia: Limita la cantidad de luz que puede penetrar en las aguas y con ello la actividad fotosintética.
- C) Oxígeno disuelto: Este tal vez es el factor más importante, la concentración de oxígeno disuelto (OD), determina la calidad de la vida acuática. La solubilidad del OD en el agua se encuentra limitada principalmente por la altitud, temperatura y salinidad; de ahí que su disponibilidad sea limitada; por lo tanto cualquier descarga de materia contaminante ejercerá una mayor demanda del mismo.

V.3- Características de las Aguas Naturales

Las características de un cuerpo de agua determinan el tipo de vida que estos contienen, así podemos evaluar un cuerpo de agua por las características siguientes:

-Corrientes lénticas y corrientes lótticas

Las corrientes lénticas incluyen aquellos cuerpos de agua que-

se encuentran tierra adentro;tales como lagos,lagunas,pantanos que no presentan movimiento de sus aguas.

-Corrientes lóaticas;estas incluyen también aguas tierra adentro como ríos,manantiales y arroyos, donde el cuerpo de agua se mueve en una dirección definida.

La distinción entre las corrientes es importante,ya que dependiendo de como sea la corriente,un desecho la afectará más o menos adversamente.

-Sólidos disueltos

Este es otro factor que define las características de calidad de un cuerpo de agua;aunque puede variar bastante de un agua a otra,existen datos que muestran que el contenido de sólidos disueltos varía tanto como de 72 mg/l a 400 mg/l,el contenido de cada elemento que se encuentra disuelto en estas aguas es --- igual de variable,ellas pueden contener:Bicarbonatos,sulfatos, cloruros,nitratos,calcio,magnesio,sodio,potasio,y hierro.

-Peces

La variedad de peces es un criterio de calidad de un cuerpo de agua;la composición de las aguas que los contienen varía,pero en general puede tener las características siguientes:

Características	Valor
pH	6.7 ^{min} - 8.6 6.3 ^{máx} - 9.0
O ₂ disuelto	no menor de 5 mg/l
CO ₂ libre	3.0-5.0 mg/l
NH ₃	no más de 1.5 mg/l
Sólidos susp.	que penetre luz a 5 m
Conductividad eléctrica	a 25 °C de 150 a 500mhox10 ⁻⁶ máx. 1000 a 2000mhox10 ⁻⁶
NMP	No exceda de 70 por 100 ml y no más del 10% de las --- muestras sobrepasarán un NMP de 230 x 100 ml

Fig.(V b) Agua que Soporta una Variedad de Peces y Vida Acuática

-Condiciones físicas

Las condiciones físicas que afectan el tipo de vida acuática, especialmente la existencia de peces en un agua natural, en ríos o en lagos son: El tamaño, la profundidad, la cantidad de agua que contenga, la continuidad de la corriente y la composición química.

El tipo de fondo afecta igualmente la productividad de el tipo de vida que puede florecer. Muchos fondos pueden ser buenos productores de comida para peces, pero malos para cultivar los huevos de pez.

V.4-Efectos de los Desechos

Cada refinería debe conocer las características del cuerpo receptor en que sus aguas de desecho serán vertidas, para así conocer los efectos que estas ocasionarán e impedirlos.

Al vertir desechos en el agua, sus características naturales se afectan, como veremos en lo que sigue:

A) pH y salinidad

Es necesario conocer siempre la capacidad de regulación o de resistencia al cambio en el pH de las aguas naturales, ya que si el desecho contiene ácidos fuertes o bases, puede ocasionar marcados cambios en el pH de las aguas naturales que estas no pueden regular por carecer de reservas reguladoras; las aguas naturales solo contienen ácidos débiles como el carbónico absorbido del aire y sales como carbonatos y bicarbonatos.

En lo que se refiere a la salinidad, la introducción de cantidades grandes de sales en corrientes de aguas dulces, puede dañar la vida animal, en especial a los peces que sólo son de aguas dulces.

B) Acidez

Substancias que imparten la característica de acidez a una solución deben esta propiedad a la facilidad para ionizar o diso-

ciarse, produciendo iones hidrógeno.

Los compuestos ácidos que disocian en un alto grado en una solución, son llamados ácidos fuertes; ácidos débiles son los que ionizan parcialmente.

La acidez de una solución es definida por la cantidad de base que reacciona con una unidad de la solución para formar una sal. Las aguas naturales superficiales contienen bicarbonatos de calcio y de magnesio. El efecto de añadir un ácido fuerte a las aguas de superficie es convertir los bicarbonatos a sales del ácido añadido.

El ácido fuerte que contienen los desechos de refinerías sin tratar, es normalmente el ácido sulfúrico, el cual libera CO_2 que puede no relacionarse inmediatamente con otros compuestos presentes, dependiendo de si las aguas naturales (de los cuerpos receptores) son duras o blandas. Este es el efecto regulador. La introducción continua de ácidos fuertes, disminuye el pH hasta valores de 4.3, en que todos los bicarbonatos han sido destruidos y se desarrolla la acidez mineral. Los efectos de la acidez son variados y complejos; algunos son: Corrosión de estructuras de acero o concreto, corrosión de los equipos de las plantas de tratamiento, etc.

Parte del CO_2 que el ácido libera es consumido por la vegetación acuática, pero excesiva acidez puede matar la vegetación. Cuando el desecho ácido es descargado en un río caudaloso o lago profundo la concentración de CO_2 en las aguas es alta, a causa de que la liberación de CO_2 es lenta. El vertido de desechos en lagos es de efectos más serios que en ríos, ya que en corrientes lénticas los efectos de la acidez se alargan.

La acidez afecta también la autopurificación de las corrientes, ya que esta destruye la vida vegetal y animal; las cuales ayudan a la autopurificación.

Por ejemplo:

a) Bacterias: Estos se mencionó son los organismos desintegrados de la cadena alimenticia; cuando una corriente de desechos entra a el ecosistema, si es ácida en exceso, disminuye el pH de las aguas receptoras y la mayoría de las bacterias mueren si el pH decrece a valores menores de 4.5; se causa así un daño importante a el ecosistema ya que la bacteria es la que se encarga de depurar las aguas transformando materia orgánica en alimento o materia aprovechable para otros organismos, si estas mueren se rompe la cadena alimenticia desequilibrando el ecosistema.

b) Plancton: Este consta de fitoplancton y zooplancton, que son formas simples de vida vegetal y animal en corrientes de aguas naturales. La acidez tiene el mismo efecto para el plancton que para las bacterias. En pH menor a 6.5 empieza a desaparecer, algunas formas pueden sobrevivir en pH=2.5; estando ausente el plancton más activo que es el que trata de mantener la pureza del ecosistema. La acidez mineral actúa directamente sobre las células de fitoplancton con efectos letales. En valores de pH de 2.5 existen sólo pocos tipos de protozoarios ciliados y el fitoplancton se encuentra ausente.

En general la acidez contribuye al deterioro del ecosistema destruyendo los principales eslabones de la cadena alimenticia.

c) Peces: Estos son las más prominentes formas de vida acuática la acidez en el caso de los peces interfiere con la respiración; ya que la cantidad de O_2 que un pez puede utilizar por hora y por unidad de peso, varía con el pH del agua. La variación en la cantidad de O_2 usado esta relacionada con las reservas alcalinas en la sangre de los peces, una reserva que aumenta, aumenta también la afinidad del hemoglobina con el O_2 .

Los peces pueden vivir en pH de 4.8 a 9.0 en aguas dulces. En -- cuanto al CO_2 , este en los peces es un producto ácido de metabolismo y es eliminado por los peces a través de la sangre; si el desecho es ácido afecta la eliminación del CO_2 , acumulándose éste en los tejidos de los peces, deteniéndose el metabolismo, so-- breveniendo entonces la muerte.

C)Alcalinidad

Las sustancias que imparten a una solución la característica de alcalinidad deben esta propiedad a su facilidad para ionizar o disociar. Los compuestos básicos son disociados produciendo iones hidroxilo u oxidrilo. Los compuestos básicos que disocian son llamados bases fuertes. La alcalinidad de una solución, se define como la cantidad de ácido con la que una unidad de la solución reacciona para formar una sal.

La adición de desechos alcalinos afecta las aguas naturales - causando altos pH. La alcalinidad de los desechos de refinería es causada por carbonatos o por hidróxidos. Los carbonatos y - los hidróxidos reaccionan con el ácido carbónico y el CO_2 de - la corriente natural y forman bicarbonatos; si la reacción continúa el pH aumenta, y en aproximadamente un $\text{pH}=8.5$ todo el - CO_2 reacciona y la alcalinidad es entonces de bicarbonatos; a- rriba de 8.5 los bicarbonatos se convierten a carbonatos.

Algunos efectos de la alcalinidad sobre la vida acuática son:

a)Efectos directos

Cuando la alcalinidad llega a ser muy alta la vida acuática muere o emigra, muchas plantas pequeñas mueren cuando la alcalinidad es alta y el $\text{pH}=9$. Pocas formas de vida pueden sobrevivir cuando el $\text{pH}=11.5$.

b)Efectos indirectos

Cuando las plantas pequeñas como el fitoplancton mueren o emigran, les sucede lo mismo a formas de vida como los peces--

ya que estos emigran a regiones donde haya abundancia de comida(plancton).

c)Peces

Los peces se ven afectados directamente por las aguas con alto pH aunque pueden resistir variaciones grandes éstos prefieren las aguas ácidas a las neutras o alcalinas.

La circulación de la sangre a través de las branquias depende de la movilidad de éstas; los iones hidróxido libres atacan las membranas de las branquias y las afectan obstruyendo el intercambio de CO_2 y O_2 para la sangre, pudiendo pararse el flujo de ésta en las branquias y el pez morir por asfixia.

D)Oxígeno disuelto

El oxígeno es necesario para los peces tanto como para otra vida animal. En agua la concentración de O_2 es de 7 a 9 mg/l por peso; el mínimo para la vida es de 3 mg/l. En general cuando existe suficiente O_2 disuelto, existen condiciones aeróbicas la vida acuática que efectúa la autopurificación óxida materia orgánica a CO_2 y H_2O . Cuando no existe el O_2 disuelto se presentan condiciones anaeróbicas; los procesos de autopurificación convierten la materia orgánica en metano, azufre y compuestos de nitrógeno que despiden olores fétidos y son tóxicos para la vida animal aeróbica. En estas aguas sólo pueden existir formas bacteriales que son anaeróbicas o facultativas. Los ríos y lagos adquieren O_2 disuelto como sigue:

a) Por absorción de O_2 del aire

b) Por fotosíntesis

E) Demanda de oxígeno

Las sustancias susceptibles a descomposición causan en las aguas una demanda de O_2 ; que puede ser Química o Bioquímica.

a) Demanda química de O_2 (DQO)

El ensayo de la demanda química de oxígeno ha sido desarrollado para suministrar estimaciones inmediatas de la concentración de orgánicos en términos de su capacidad de consumo de oxígeno. Podemos definirla como la cantidad de O_2 , expresada en mg/l requerida para oxidar compuestos en un agua de desecho por reacción química.

b) Demanda bioquímica de O_2 (DBO)

Cuando un material orgánico no tóxico entra en contacto con una bacteria dentro de un medio acuoso la bacteria consume el material produciendo células bacteriales adicionales, agua, CO_2 y otros productos de desecho. Las células vuelven a reaccionar y en cierto tiempo serán también convertidas a agua y CO_2 . El oxígeno total usado en la completa estabilización biológica de un material es su Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO). La reacción bioquímica completa es un proceso largo, se requieren entre 20 y 100 días para completarla; ya que este período es inconveniente se ha desarrollado un ensayo para 5 días (DBO_5).

c) Demanda inmediata de O_2

Es definida como la cantidad de O_2 expresada en mg/l utilizada por los componentes de un agua de desecho inmediatamente después de que es introducida en un agua que contiene O_2 disuelto. La DIO se determina mezclando agua de desecho con un volumen dado de agua con oxígeno disuelto en concentración de saturación. Se mezcla durante 15 min a $20^\circ C$ y luego se determina el O_2 residual; la cantidad de O_2 utilizado en estos 15 min es la DIO. Los desechos de refinería que contienen compuestos fácilmente oxidables, como sulfuros y tiosulfatos, extraen el O_2 de los cuerpos receptores.

F) Efectos osmóticos

Los efectos osmóticos de los solubles, son una función de sus-

concentraciones. La presión osmótica puede ser definida como sigue: Cuando 2 soluciones son separadas por una membrana semi permeable, se origina un flujo de solvente hacia la solución de concentración molecular alta. Este es el flujo osmótico; la presión causada por este flujo es la presión osmótica.

El flujo osmótico y la presión causada por los sólidos disueltos, influyen en la vida acuática; aquí la pared de células de los organismos es la membrana semipermeable que separa el protoplasma de las células de el agua en que el organismo vive.

El solvente es el agua. Normalmente la concentración de sólidos disueltos en el agua natural es menor que la concentración de sólidos en el protoplasma. Como el flujo se establece de la solución de baja concentración para la de alta concentración, el agua normalmente fluye de el habitat a través de las paredes de células para el protoplasma del organismo; sin embargo cuando la concentración de sólidos en el habitat llega a ser excesiva el agua fluirá al contrario, a causa de que la concentración de sales disueltas será menor en la célula que en el agua, si esto sucede las células serán gradualmente deshidratadas, el protoplasma se reducirá y el organismo morirá sea este vegetal o animal.

H) Sabor y olor

El uso de las aguas naturales domésticamente es lo que justifica que estas no se contaminen por olores y sabores; aunque hay que decir que la contaminación por olores o sabores indica la presencia de (el caso de la industria refinera) compuestos; como sulfuros o fenoles, que aparte del olor que provocan, son tóxicos para los peces y para las bacterias.

J) Color

El color, la turbidez y la materia suspendida, son propiedades de las aguas naturales que pueden ser significativamente afec

tadas por desechos de refinerías,impartiéndoles colores desagradables que además impiden el paso de la luz.

J)Turbidez y materia suspendida

El término materia suspendida se aplica a las partículas finamente divididas que sedimentan lentamente o no sedimentan.Las partículas en el agua natural estan compuestas de plancton y limos producto de erosión;en desechos de refinería sin tratar pueden ser carbón finamente dividido,coque,catalizador,arcillas,cenizas,emulsiones y materia floculenta.que contribuyen a aumentar la turbidez de las aguas,impidiendo el paso de la luz solar a determinados niveles,lo que ocasiona la muerte de las formas vivientes que estan ya adaptadas a determinadas características de penetración de luz.La luz del sol que penetra a el agua,es absorbida por las plantas verdes,tales como algas microscópicas que son a su vez alimento de otras formas animales mayores y estas a su vez son alimento de otras formas animales mayores;así la energía es transferida y transformada dentro de las actividades de la vida de todos los organismos acuáticos;por lo que existe una relación cerrada entre todos ellos.Cuando la luz se excluye del ecosistema las actividades de la vida de los organismos se retardan en la proporción que la luz se ausentó.La formación de lodos en el fondo de los cuerpos receptores y arrastre de los huevos de los peces son otros efectos que pueden suceder cuando descargas de aguas residuales con altos contenidos de materia suspendida son persistentemente incorporadas a ríos,lagos o lagunas.

K)Temperatura

La temperatura es una condición física o una propiedad termodinámica de la materia.Como una condición de los alrededores que soportan vida esta tiene límites entre letales y óptimos que pueden ser tolerados o no por los seres vivos.Ella inter-

viene directamente en la cantidad de O_2 disuelto. Aumentos en la temperatura incrementan las reacciones que ocurren en el ecosistema incrementando también el consumo de O_2 , reduciendo así su concentración. Las variaciones de la temperatura en aguas naturales pueden ocasionar la muerte de seres vivos como los peces a causa de que son seres de sangre fría y no pueden regular eficientemente la temperatura de sus cuerpos; cuando la temperatura aumenta, el metabolismo de un pez se altera de manera que sus necesidades de O_2 y de respiración suben; la necesidad aumentada de O_2 es particularmente grave puesto que en el agua caliente existe menos O_2 disuelto que en el agua fría. Cuando la temperatura rebasa una máxima tolerable, fallan los sistemas respiratorio y nervioso sobreviniendo la muerte. Según la Administración Federal para el Control de la Contaminación del Agua, ninguna especie de los peces corrientes de los E.U.A pueden sobrevivir en aguas con temperatura a más de $24^{\circ}C$. El trastorno de la cadena alimenticia es otra consecuencia de el aumento de la temperatura, por ejemplo faltándoles a los peces en la etapa de cría alimento que sólo pueden conseguir en la forma de organismos pequeños tales como copépodos. Si el desarrollo de estos organismos se ha adelantado o retrasado debido a un cambio de temperatura, podrán estar ausentes precisamente cuando las crías dependen más de ellos. Las temperaturas altas se revelan más a menudo más favorables para los organismos patógenos, de modo que la contaminación térmica podrá convertir una frecuencia baja de enfermedad de los peces en una mortandad masiva de los mismos, al hacerse los patógenos más virulentos y los peces menos resistentes. La temperatura de los efluentes de refinería varía ampliamente y pueden ser causa de alteraciones en la temperatura de ríos o lagos; se han reportado temperaturas de 10 y $60^{\circ}C$ aun-

que la mayoría de los efluentes tienen temperaturas con rangos de entre 20 y 40°C.

Ejemplos de mortandad de peces por cambios de temperatura pueden ilustrarse con lo que sucedió en las costas de Perú al haber un comportamiento irregular en la corriente marina ecuatorial llamada el Niño, que causó alta mortandad entre los organismos acuáticos; su temperatura normal aumentó en relativamente poco, o sea de 25°C a 37. Aunque este fue un fenómeno natural existen algunos otros que son creados por el hombre como el siguiente: En 1970, 150,000 peces resultaron muertos en una unidad de la Consolidated Edison en el río Hudson; otras 120,000 perchas murieron 3 meses más tarde en el mismo lugar a causa de descargas de agua contaminada térmicamente.

V.5-Contaminantes y Toxicidad

Es conveniente mencionar a los contaminantes de el agua que por su peligrosidad o por la cantidad en que son desechados influyen más en cambiar las características de calidad de las aguas-receptoras. Los efectos de estos contaminantes se han investigado más en relación a los daños que causan a los ecosistemas acuáticos y no tanto en relación con los daños que podrían causar al ser humano. Sólo se mencionan los daños indirectos; como aquellos en los que por efecto de vertido de contaminantes se pueden perder actividades productivas para el hombre como la pesca, la navegación o la recreación.

Entre los principales contaminantes tenemos:

a) Fenoles

Los fenoles son componentes orgánicos solubles encontrados en la mayoría de los desechos de refinerías, éstos contribuyen en mucho a la demanda del O₂ del desecho, teniendo una DBO última de 2.5 lbs de O₂ por libra de material y una DBO₅ de 1.7lb de O₂ por libra de material. En altas concentraciones, los fenoles-

actúan como poderosos bactericidas y como tales interfieren con los procesos de tratamiento de las aguas y ser altamente nocivos para los ecosistemas acuáticos. Los fenoles han sido reportados como tóxicos para los peces de aguas dulces en concentraciones de 1 a 10 mg/l; el olor y el sabor han sido identificados abajo de concentraciones de 0.005 mg/l. El fenol es frecuentemente mencionado como un contaminante y valores menores de 0.002 mg/l se han especificado como los máximos permisibles para descargar en un cuerpo receptor. Bajo condiciones normales los fenoles pueden ser degradados por las bacterias, pero para cargas de fenoles altas los efectos en cuerpos receptores o en sistemas de tratamiento biológicos pueden ser desastrosos.

b) Sulfuros

Los sulfuros son también constituyentes de las aguas residuales de refinerías y presentan problemas varios únicos. Estos materiales son tóxicos para los ecosistemas acuáticos y en concentraciones de 1 a 5 mg/l o mayores, son letales para los peces. El sulfuro de hidrógeno o ácido sulfhídrico es tóxico, corrosivo e imparte olores, sabores y en general características desagradables en pequeñas concentraciones al agua.

El sulfuro de hidrógeno tiene una alta DIO, lo cual reduce severamente el O_2 disuelto en un cuerpo receptor; en concentraciones mayores de 10 mg/l estos han sido reportados como tóxicos para las masas bacteriales constituyéndose como un problema para los ecosistemas acuáticos y para los sistemas de tratamiento biológicos. El control estricto de las descargas de sulfuros es requerido en regulaciones de calidad de las aguas residuales, niveles de sulfuros de menos de 1 mg/l en un efluente son normalmente impuestas.

c) Aceite

El aceite es un hidrocarburo que causa problemas antiestéticos, sabores y olores indeseables en el agua. Contamina las costas, las playas, las plumas de las aves y se puede adherir a las branquias de los peces, los peces sin embargo segregan una película mucosa que los protege.

Bajas concentraciones de hidrocarburos ocasionan sabores desagradables en la carne de los peces, las capas de aceite interfieren con el proceso natural de respiración y con el de fotosíntesis. El aceite puede destruir las algas y el plancton eliminando una fuente de alimento para los peces. Los organismos muertos pueden sedimentar al aglomerarse y destruir a los organismos del fondo. Se ha demostrado que un mililitro de aceite puede cubrir $3,333 \text{ m}^2$ de superficie de agua de ahí su nocividad.

d) Nitrógeno

El nitrógeno se encuentra en tres formas significantes:

- 1) Orgánica, que son aquellos compuestos de nitrógeno incorporados a las células de organismos.
- 2) Amoníaco, que puede ser libre (sin ionizar en forma de hidróxido) o como ion amonio.
- 3) Nitrato o nitrito

El exceso de nitrógeno puede causar problemas, ya sea por la demanda de O_2 o por que es un nutriente. Los problemas de nutrientes en cuerpos receptores indican aumento en la población vegetal hasta puntos indeseables (eutroficación).

El amoníaco es la principal forma de nitrógeno en un efluente de refinería. El rango de concentración varía de 10 a 200 mg/l.

e) Fosfatos

El fósforo como el nitrógeno es también requerido para una --

adecuada depuración del agua de los cuerpos receptores y es requerido también para operar adecuadamente las plantas de tratamiento biológico. Exceso de fósforo puede causar eutroficación; ya sea en plantas de tratamiento o en cuerpos receptores. Aproximadamente una libra de fósforo es requerido por cada 100 lb de DBO en sistemas de tratamiento biológico. Las concentraciones de fósforo encontradas en efluentes de refinería varían entre 20 y 100 mg/l (como PO_4); altas concentraciones de fósforo llegan normalmente de las torres de enfriamiento.

h) Metales pesados

Los metales pesados que pueden ser identificados en desechos de refinerías son: Cromo, cobre, níquel, mercurio, cadmio y zinc. En muchos casos sus concentraciones son bajas y pueden no constituir problema en los cuerpos receptores y en los tratamientos biológicos. Aunque en algunos casos en que la contaminación por metales pesados excede las concentraciones normales, se deben muestrear estos procesos para controlar el efluente.

El mercurio puede en sí ser uno de los metales más peligrosos ya que los peces pueden convertir los restos de mercurio en cloruro de metil-mercurio que al pasar de los peces al ser humano provoca trastornos de tipo neurológico.

i) Plomo

El plomo que pueden contener los efluentes de refinería, puede provenir de los procesos de obtención de gasolinas o de el almacenamiento de éstas. No existen datos de las concentraciones de plomo que pueden ser encontradas en efluentes de refinería se sabe que este es un metal acumulable en los tejidos de los peces y puede llegar a ser letal en períodos variables de tiempo. El plomo provoca cambios en las funciones reproductoras y en general en el metabolismo de los peces, denominándose

le toxicidad crónica.

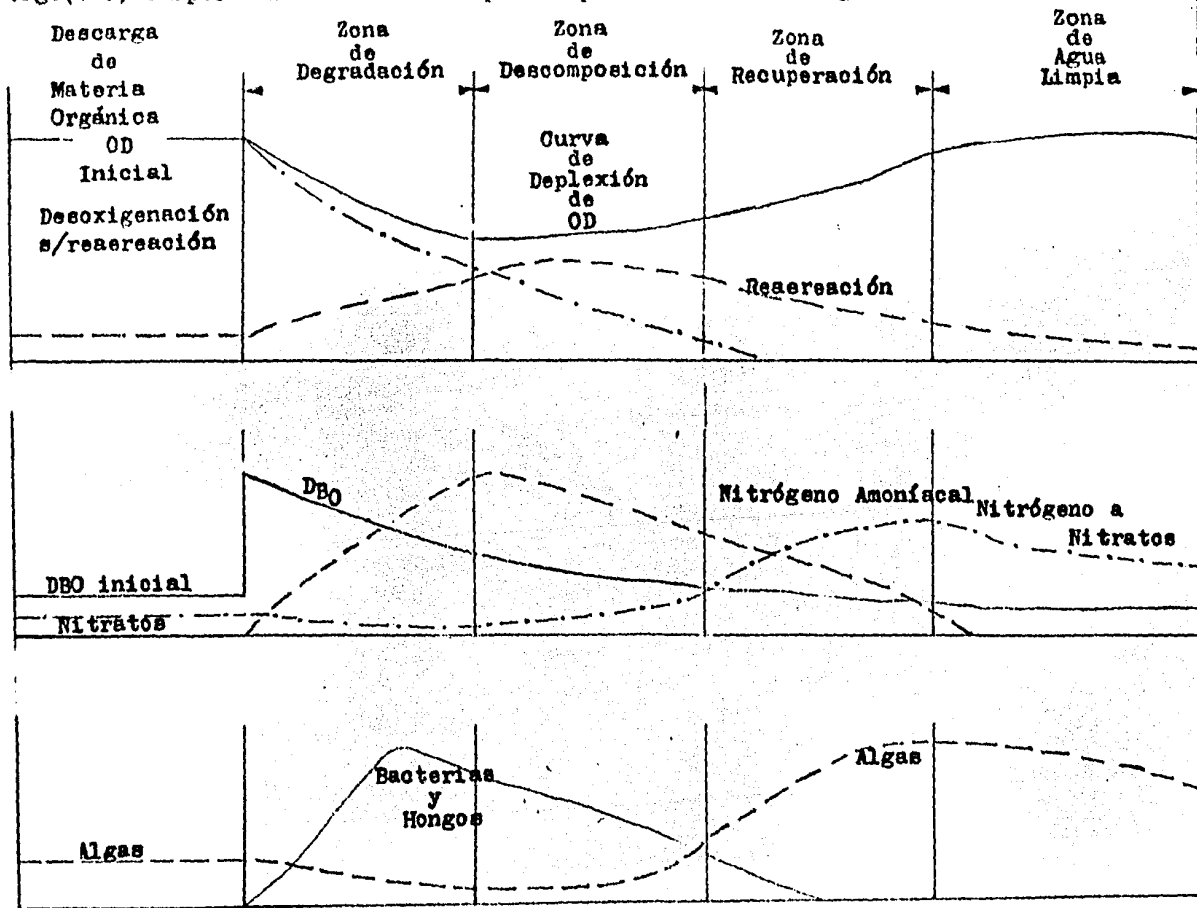
V.6-Comportamiento de un Cuerpo Receptor

La figura(V c) resume el comportamiento normal de un cuerpo receptor(río)al recibir una descarga contaminante de materia orgánica y su efecto sobre el O_2 .Como se puede observar se presentan cuatro zonas bien definidas,estas son:

- 1)Zona de degradación:Se localiza inmediatamente después de la descarga y sufre una disminución progresiva del O_2 disuelto,- que es utilizado para satisfacer la DBO.
- 2)Zona de Descomposición Activa:En esta zona se presenta el --- máximo impacto de la descarga,el OD se encuentra a niveles mí nimos y se presenta la descomposición en el fondo causando ma los olores.Las formas superiores(peces)encuentran este medio- indeseable y emigran o mueren.Las bacterias y hongos aumentan su población y actúan en la descomposición de la materia orgánica al mismo tiempo que disminuye la DBO y aumenta el nitrógeno amoniacal.
- 3)Zona de Recuperación:En esta zona la reaereación supera la de so xigenación,con el consecuente incremento lento y progresivo de OD,mientras que el nitrógeno amoniacal es convertido biológicamente a nitratos.La población original presenta un aumento de las especies más resistentes,y las algas se desarrollan más intensamente por el incremento de nutrientes inorgánicos- que resultan de la estabilización de la materia orgánica.
- 4)Zona Limpia:En esta zona se presenta una gran variedad de ani males y plantas ,el OD vuelve a sus valores originales y la DBO ha sido prácticamente eliminada.

El deterioro producido por una descarga en este tipo de corrientes siempre será menor que el que se puede producir en una corriente léntica.

Fig.(V c) Comportamiento de un Cuerpo Receptor ante la Descarga de Materia Contaminante.



CAPITULO VI

METODOS DE TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES EN REFINERIAS

VI.1-Introducción

Para cumplir con los requerimientos legales en cuanto a las concentraciones permisibles de contaminantes que deben contener - los efluentes de refinerías y para evitar deterioros de los --- cuerpos receptores, la industria ha tenido la necesidad de investiguar, desarrollar e implementar equipos y sistemas que depuren- sus aguas residuales antes de que estas se viertan a los cuer-pos receptores o a los sistemas de alcantarillado de las pobla- ciones.

Existen una gran variedad de equipos y sistemas enfocados todos a depurar aguas residuales, que se pueden usar en combinaciones- varias dependiendo de las composiciones de las aguas residuales y del grado de depuración que de estas sea necesario.

La selección de un sistema de tratamiento de aguas residuales - para una refinería depende de la evaluación de muchos factores, algunos son:

- a) Características de las aguas receptoras (gasto, calidad y uso - presente y futuro)
- b) Normas legales pertinentes a el uso de la corriente y la cali- dad de esta.
- c) Calidad y cantidad de los efluentes
- d) Calidad y cantidad del agua cruda disponible
- e) Requerimientos de agua de la refinería
- f) Area de terreno disponible para las instalaciones

En términos generales un sistema que maneja aguas residuales, - consiste de:

- a) Un sistema de alcantarillado y recolección de aguas
- b) Separador Agua-Aceite por gravedad e instalaciones auxiliares
- c) Unidades de tratamiento o disposición para manejo de solucio-

ciones químicas segregadas y otros desechos de proceso así como para el control de los efectos de contaminantes que tienen propiedades tóxicas

d) Algunas formas de tratamiento secundario siguiendo a la separación Agua-Aceite

Esta es en sí la descripción del tratamiento de las aguas fuera de las áreas de proceso; en proceso existen otros tratamientos - que se denominan tratamientos en planta.

Los métodos de tratamiento de aguas residuales pueden ser categorizados como sigue:

a) Métodos Físicos

b) Métodos Químicos

c) Métodos Biológicos

d) Métodos Especiales (tratamientos en planta)

VI.2-Tratamientos en Planta

Este tipo de tratamiento es aquel que se aplica a las aguas residuales antes de descargarlas al drenaje de la refinería. El tratamiento en planta es considerado como una de las maneras más económicas de minimizar los olores y los problemas químicos que plantean las sustancias que transporta una agua de desecho de proceso. Las principales corrientes tratadas son: Aguas de proceso con contenidos de aceite emulsificado, aguas sulfurosas, lodos orgánicos, desechos caústicos gastados y aguas fenólicas.

Los métodos de tratamiento más importantes incluyen operaciones de agotamiento de aguas amargas, neutralización y oxidación de caústicos gastados y control de temperatura. La práctica de tales operaciones de tratamiento no sólo reduce las cargas de desechos a las instalaciones de depuración de las aguas, sino también evita que lleguen a estas instalaciones sustancias tóxicas en cantidades que afecten su operación.

La recuperación de sustancias con valor comercial y para reuso

en otro tipo de procesos constituye una de las grandes ventajas de los tratamientos en planta.

VI.2.1-Agotamiento de aguas amargas

El proceso de agotar las aguas se aplica a las que llevan en solución, sulfuros, mercaptanos, dióxido de carbono, amoníaco y fenoles; generalmente estas aguas contienen a 3 contaminantes principales, que son:

Contaminante	Concentración
H ₂ S	390-8250 ppm
NH ₃	135-6550 ppm
Fenoles	100-900 ppm
pH	7.75-9.5

Fig.(V a) Contaminantes Principales en Aguas Amargas

El proceso de agotar las aguas es una forma de destilación simple, que elimina los gases disueltos y otros compuestos volátiles. Un eficiente agotamiento de aguas amargas puede bien eliminar entre 98 y 99% del sulfuro de hidrógeno y entre 90 y 97% de amoníaco. El agotamiento también elimina fenoles, aunque los fenoles eliminados pueden variar entre 0 y 65%.

El proceso de agotamiento se muestra en la figura (VI b) y como se observa, consta de una torre la cual puede ser de una o dos secciones; en esta el agua alimentada entra por la parte superior, el vapor, que es el medio agotador es introducido por debajo de la torre. El flujo ascendente de vapor agotador o gas, elimina sulfuro de hidrógeno y amoníaco libre de la corriente descendente de agua amarga. El gas agotado o amargo sale por el domo de la torre y se enfría en un condensador de agua, saliendo después al tanque de desfogue para posteriormente enviarlo al quemador de campo o al proceso de conversión a azufre.

El sulfuro de hidrógeno por ser muchísimo menos soluble en el

agua que el amoníaco es más prontamente agotado. El sulfuro de hidrógeno es agotado a temperaturas de 38°C y el amoníaco es -- eliminado a temperaturas de 110°C , con una eficiencia del 90% . Otro proceso alternativo de eliminación de los sulfuros, consistiendo en oxidación con aire. El aire y la temperatura son usados para convertir los sulfuros y mercaptanos a tiosulfatos y sulfatos, los cuales son solubles en agua y no objeccionables. Otro proceso que se puede usar para depurar aguas en planta es la extracción que en términos generales consiste en la transferencia de un material componente de una fase a otra.

VI.2.2-Sosas gastadas

Una corriente de desechos importante de proceso, es la que se refiere a los cáusticos gastados; generalmente en las refinerías -- se usa la sosa cáustica para neutralizar ácidos que se encuentran en el crudo y en sus fracciones. La sosa después de ser usada en estos tratamientos se denomina sosa gastada; la cual requiere tratamiento y regeneración ya que puede contener sulfuros, mercaptanos, sulfatos, fenoles, naftenatos y otros compuestos orgánicos e inorgánicos que contaminan el agua desde los puntos de vista de toxicidad, consumo de oxígeno, olor, sabor y pH. Los procedimientos empleados para tratar las soluciones cáusticas gastadas incluyen métodos directos y métodos químicos. Los métodos directos son más que tratamientos, métodos de disposición, -- tenemos en estos la evacuación directa de las sosas gastadas -- en cantidades tales que no afecten los ecosistemas (dilución), o inyección en pozos.

Los métodos químicos incluyen: Regeneración, oxidación con aire y neutralización; la regeneración incluye el proceso de agotar las sosas, extrayendo así los mercaptanos.

La fig. (VI c) muestra los principales tratamientos aplicados a las corrientes de proceso.

VI.3-Segregación de Drenajes

Después del tratamiento en planta, las aguas entran al sistema de recolección de aguas de la refinería y se dirigen a los tratamientos ubicados fuera de la zona de proceso.

En general en una refinería los sistemas de aguas residuales manejan cuatro principales tipos de aguas contaminadas; estos son: el agua que ya tratada viene de la zona de proceso, agua con --- aceite libre, agua de enfriamiento y aguas limpias, que incluyen a las que provienen de usos sanitarios. Se encuentra que la composición de estas aguas es diferente, por lo que es inconveniente mezclarlas; la experiencia ha demostrado que la eficiencia de una planta de depuración de aguas residuales, es directamente -- proporcional al grado de segregación aplicado a las mismas. Actualmente las refinerías y las petroquímicas tienden a segregar sus aguas en función de la toxicidad y cantidad de contaminantes que estas contengan, en consecuencia suelen establecerse --- tres tipos de sistemas:

- Sistemas de aguas aceitosas
- Sistemas de aguas limpias
- Sistemas de aguas de proce-
so o muy contaminadas

Ocasionalmente se agregan otros tipos de sistemas para tratar -- contaminantes especiales, por ejemplo un sistema para manejar -- agua aceitosa con tetraetilo de plomo (TEL). La figura (VI d) indica las corrientes que cada sistema de drenaje maneja y da una -- idea de sus grados de contaminación.

VI.4-Métodos de Tratamiento Físicos

Los métodos físicos incluyen: Separación por gravedad o sedimentación, filtración, flotación, centrifugación, filtración al vacío, evaporación y absorción por carbón.

De entre todos estos, los tratamientos más usados en refinerías -- son:

a) Separación por gravedad

Este es generalmente el primer paso en el tratamiento de los efluentes que vienen de el sistema de alcantarillado de una refinería. Este tratamiento se implementa para eliminar el aceite libre de las aguas de desecho. El funcionamiento de un separador por gravedad depende sobre todo de la diferencia de gravedad de el aceite y el agua; por lo que el separador no romperá emulsiones ni eliminará sustancias en solución.

La efectividad de un separador, se juzga por medio de la prueba de susceptibilidad del aceite a separarse del agua, que se describe en el método 734 del Instituto Americano del Petróleo (API). El equipo de separación normalmente usado es el tipo API, que consiste de un preseparador y un separador principal, generalmente de forma rectangular, con distribuidores de influente y efluente, con desnatadores de aceite y con rastras para lodos, como muestra la figura (VI e).

El efluente del separador API por lo general requiere más tratamiento, antes de su descarga a los cuerpos receptores. El tipo y lo extenso del tratamiento, depende de la naturaleza de los contaminantes presentes y de las normas que regulan las concentraciones y tipo de contaminantes en efluentes de refinarias.

b) Sedimentación

La sedimentación es una forma de la separación por gravedad, esta por lo común es usada en combinación con otros tipos de tratamientos, para clarificar efluentes. La sedimentación elimina sólidos suspendidos. Un ejemplo de sedimentador, puede ser el propio separador API.

c) Filtración

la filtración es otro método de tratamiento físico que puede ser empleado para depurar el efluente del separador API; existen varios tipos de filtros, los más comunes son: Los filtros de are-

na, los filtros al vacío y los filtros rociadores o de goteo.

Un filtro se puede decir que es, un lecho de material granular - que físicamente elimina materia suspendida del agua que pasa a través de él.

-Filtros de arena

Los filtros de arena han sido empleados en el tratamiento de -- las aguas residuales industriales. Existen 2 tipos, estos son: -- filtros de arena lentos y filtros de arena rápidos. Los filtros lentos funcionan eficientemente cuando la turbidez de las aguas es baja (30 a 50 mg/l). Como pocas refinerías tienen efluentes de esta calidad, este tipo de filtros no se usan en ellas.

Los filtros rápidos contienen arena gruesa que permite filtra- ción rápida de aguas con alta turbidez; por lo general el uso de estos filtros hace necesario que el agua se pretrate con flocu- lación química. Este filtro debe ser lavado por retrolavado an- tes que por remoción de la superficie. Este tipo de filtro es po- sible operarlo en refinerías.

-Filtros rociadores o de goteo

-Este tipo de tratamiento ,no se clasifica dentro de los trata- mientos de tipo físico, pero se incluyen en esta parte por refe- rirse a filtración.

Un filtro rociador es un tratamiento biológico aeróbico, con un cultivo fijo de microorganismos, contenidos en un lecho poroso a través del cual el agua de desecho es pasada. La materia orgáni- ca es eliminada por medio de la película microbial desarrollada en la superficie del lecho. Los filtros convencionales contienen material granular de 2 1/2 a 4" y varían en profundidades de 3- a 8 ft; en cargas hidráulicas máximas de 0.4 lt/seg/m²; filtros - plásticos con material granular de tamaño medio son usados para altas cargas hidráulicas y orgánicas, con lechos de 40 ft.

Los filtros rociadores o de goteo han sido ampliamente usados -

en refinerías como tratamiento secundario de efluentes para reducir las cargas orgánicas de las aguas que van al proceso de lodos activados.

d) Flotación

La flotación con aire disuelto ha sido tradicionalmente un método usado en el tratamiento de las aguas para la separación de sólidos suspendidos, aceites, grasas y otros materiales de baja densidad del seno de un líquido, se usa también para el espesamiento y dispersión de lodos.

El proceso es usado como tratamiento secundario y como tal este debe ser antecedido por el separador Agua-Aceite para eliminar cantidades gruesas de aceite y sólidos sedimentables.

La flotación con aire disuelto, consiste en la introducción de burbujas de aire en el agua residual, de manera que estas reduzcan la gravedad específica del aceite o de los materiales en suspensión, favoreciendo así el ascenso de estos a la superficie.

En general 2 métodos son usados para formar las burbujas de aire. Un método comprende aereación del desecho hasta saturarlo con aire a presión atmosférica, liberación del aire en exceso y luego formación de burbujas por aplicación de vacío de aproximadamente 9" de Hg (4.4 psig). Con el otro método, el aire es disuelto en el desecho bajo una presión de 40 a 60 psig (3 a 5 atm), y luego es liberado a la unidad de flotación, la cual está a presión atmosférica, momentos después burbujas de aire se liberan de la solución y se adhieren a las partículas, ascendiendo a la superficie una mezcla aire-sólido donde forma una espuma o nata; así el líquido clarificado es entonces removido del fondo de la unidad.

La flotación con aire disuelto debe ser acompañada de tratamiento químico (floculación), especialmente cuando el desecho contiene aceite emulsificado. Con el uso del proceso se pueden lograr reducciones en el contenido de aceite de aguas residuales.

de refineras hasta niveles cercanos a la solubilidad de este -
Experiencias han mostrado que la combinación Flotación-Floculación elimina 97% del aceite, 75% de los sólidos suspendidos, y reduce la DBO y la DQO en 80%.

Existen tres esquemas básicos de flotación, cuyos nombres son:

-Flotación con aire disuelto en operación a fracción de gasto
-Flotación con aire disuelto con presurización de todo el gasto de entrada.

-Flotación con aire disuelto con presurización de recirculación
Cada uno de los procesos se muestra en la fig(VI f). En ella se observan los accesorios de que consta la unidad de flotación; estos son:

- 1) Cámara de flotación
- 2) Desnatadores y/o rasquetas para lodos
- 3) Bomba de presurización
- 4) Instalaciones para inyección de aire
- 5) Tanque de presurización, o recipiente de contacto
- 6) Dispositivo regulador de presión
- 7) Instalaciones para alimentación química
- 8) Cámara de floculación

De estos dispositivos, los más importantes son:

El tanque de presurización, ya que suministra el contacto requerido para disolver el aire en la corriente de desecho, se diseña para un tiempo de retención de 1 a 2 min.

Cámara de floculación que es necesaria cuando el sistema se usa en combinación con adición de químicos; esta proporciona el contacto requerido entre los coagulantes químicos y el desecho; se diseña normalmente como una sección adicional de la unidad de la cámara de flotación.

VI.5.- Métodos de Tratamiento Químicos

Químicos variando desde piedra caliza o cal, hasta polielectrolitos complejos, juegan un papel principal en el tratamiento de las aguas de desecho; sus usos dan lugar a una gama de reacciones químicas, que podemos englobar bajo los nombres de:

-Neutralización

-Oxidación

-Reducción

-Precipitación

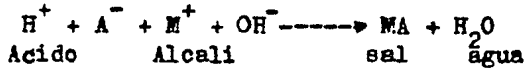
-Floculación (Coagulación)

En el tratamiento de las aguas de desecho, los métodos químicos - pueden ser usados para eliminar materia coloidal, color, olor, ácidos, alcalis, metales pesados, y aceite; estos métodos son considerados como maneras de clarificar efluentes, de romper emulsiones - o de ajuste de pH.

-Neutralización

El proceso químico de neutralización es usado frecuentemente en el tratamiento de desechos industriales que contienen materiales con carácter ácido o alcalino; este se puede usar como pretratamiento a las aguas de desecho antes de que entren a tratamiento - subsecuente o antes de que las aguas sean descargadas a los cuerpos receptores. El requerimiento de neutralizar las aguas residuales antes de descargar a los cuerpos receptores, es una norma fundamental en las leyes y reglamentos que se avocan a prevenir la contaminación ambiental. Existen límites estrictos para el pH, no solo para descargas de aguas residuales en cuerpos receptores, - sino también para descargas en los drenajes municipales. Las descargas a una corriente pueden tener pH entre 6.5 a 8.5, a un drenaje el pH estará entre 5 y 10. Descargas directas de ácidos o alcalis a un drenaje, pueden causar corrosión y depósitos de lodos. En corrientes receptoras pueden causar muerte o deterioro del - ecosistema.

La neutralización involucra la reacción de compuestos que tienen iones hidrógeno o hidróxido en forma activa para formar agua y sales; la reacción fundamental de neutralización, puede escribirse como sigue:



Las sales que se forman, pueden ser solubles o insolubles en el agua, por ejemplo, la neutralización de sosa cáustica con ácido sulfúrico, que produce sulfato de sodio soluble ($\text{H}_2\text{SO}_4 + 2\text{NaOH} \text{----} \text{Na}_2\text{SO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$). En otro tipo de neutralización, sulfato de calcio insoluble se formará al usar cal como neutralizador.

En refinerías, los efluentes de las plantas, pueden producir desechos ácidos y también alcalinos, por lo que puede ser conveniente mezclarlos para neutralizarlos.

-Químicos para neutralización

Los químicos comunes que pueden ser considerados en la neutralización de desechos, se listan en la figura (VI g). En esta figura la piedra caliza se destaca por ser insoluble en el agua y por requerir contacto directo con los desechos ácidos, que pasan a través de ella; un arreglo de tratamiento de desechos ácidos con caliza, se muestra en la figura (VI h).

El tratamiento de neutralización, ya se mencionó antes en lo que se refirió a tratamientos en planta (neutralización con gas combustible).

-Neutralización apropiada.

Los términos que se deben considerar para una neutralización adecuada son:

- 1.-Igualación: La igualación tanto de flujo como de pH anterior a la neutralización amortigua la variación en requerimientos químicos y resulta en un sistema más económico y más fácil de operar.
- 2.-Costos de neutralización: El costo de neutralización no sólo depende de los costos de los reactivos químicos, sino que tam-

bien del uso potencial y/o la disposición del lodo generado, - el grado de neutralización, y el equipo para el manejo de reactivos.

- 3.-Características químicas: Las características químicas de un desecho indican la cantidad de ácido o alcali que se requiere para la neutralización y la cantidad de lodo generado. Una aproximación de los requerimientos químicos puede determinarse en el laboratorio.
- 4.-Volumen de lodo y características: Si la precipitación ocurre hasta la neutralización, los sólidos van a acumularse y deben ser dispuestos. Los costos de manejo de sólidos deben evaluarse y tomarse en cuenta dentro del costo total de neutralización.

Químicos para Neutralización	
Desechos Ácidos	Desechos Alcalinos
Cal	Acido Sulfúrico
Piedra Caliza	Acido Clorhídrico
Sosa Cáustica	Gas Combustible
Amoníaco	Azufre
Desecho Alcalino	Desecho Ácido

Fig. (VI g) Químicos Comúnmente usados en Neutralización.

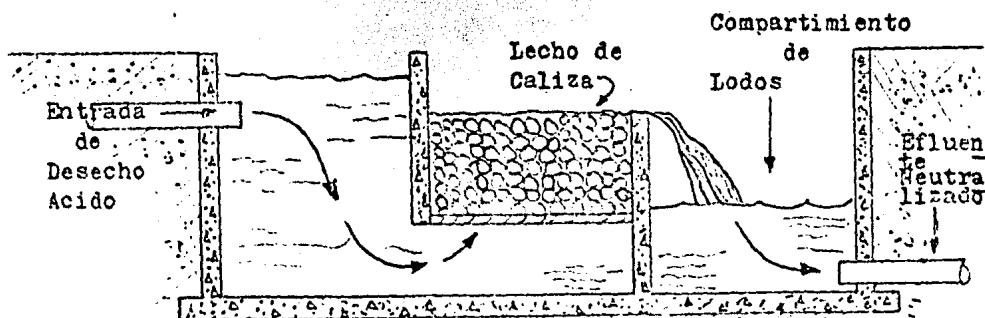


Fig. (VI h) Sistema de Neutralización con Lecho o Cama de Piedra Caliza.

-Oxidación con cloro

La oxidación de las aguas de desecho por ciertos oxidantes químicos, ha demostrado su utilidad en la reducción de la concentración de contaminantes orgánicos en estas. Algunos oxidantes son: cloro, dióxido de cloro, cloraminas, ozono y peróxidos. Muchos de los trabajos utilizando oxidantes químicos, han sido dirigidos hacia la oxidación de fenoles.

El cloro, puede ser añadido como gas o como sales de hipoclorito; puede reaccionar con el amoníaco para formar cloraminas, las cuales reaccionan menos rápido, pero son oxidantes más fuertes que el cloro solo. La oxidación completa del amoníaco por cloro, requiere una proporción $Cl_2:NH_3$ de 10:1; el cloro oxidará el amoníaco antes que al fenol. La reacción del cloro para formar cloraminas es la siguiente: $Cl_2 + NH_3 \rightarrow NH_2Cl + HCl$.

La proporción teórica de cloro requerido para la completa destrucción de los fenoles es: 6:1, aunque en la práctica se han reportado proporciones de 50:1, esto por causa de la presencia de algunos otros compuestos orgánicos presentes.

Cloración alcalina, puede destruir cianuros, sucediendo en 2 pasos, oxidación a cianatos y ácido clorhídrico, y posterior oxidación a dióxido de carbono y nitrógeno.

Otro oxidante químico importante, es el ozono, el cual puede usarse para destruir cianuros y fenoles; sin embargo el alto costo de generación del ozono limita su uso.

El costo de tratar cianuros por oxidación con cloro, es alrededor de un cuarto de lo que cuesta hacerlo con ozono.

Las ventajas de operar oxidación de fenoles con cloro, son las siguientes:

- a) Las condiciones de operación no requieren control rígido
- b) Ajuste de pH no es necesario
- c) Temperatura no es un factor crítico
- d) El tiempo de reacción es corto
- e) La proporción de dióxido de cloro a fenoles varía

con el desecho tratado, pero proporciones de 1:1 o 2:1 han sido efectivas.

f) No se producen clorofenoles.

Algunas reacciones típicas del cloro, se muestran a continuación.

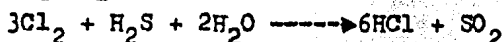
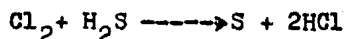
Reacciones de Oxidación Típicas
Involucrando al Cloro.

1.

1. Materia orgánica



2. Sulfuros



3. Ciánuros



Fig. (VI 1).

-Reducción

Este proceso no es muy usado en el tratamiento de los desechos industriales; generalmente se usa en las industrias que manejan o trabajan con metales.

En refinerías este método no se usa.

-Floculación (Coagulación)

Los términos floculación y coagulación, son indistintamente usados en discusiones de clarificación de aguas a través de el uso de químicos. El término floculación ha sido arbitrariamente seleccionado como encabezado; este requiere definición para evitar confusiones. La floculación es un término que englobaría al de coagulación. La floculación se entiende como el conjunto de procesos en que las aguas de desecho son clarificadas por la adi-

ción de coagulantes químicos para producir finalmente precipitados o microflocs por el proceso de coagulación, que es seguido por la floculación (un más específico significado del término) de estas pequeñas partículas en grandes aglomeraciones o agrupaciones que pueden ser eliminadas por sedimentación; el lugar donde se lleva a cabo el proceso, se denomina comúnmente unidad de Floculación. En refinerías el proceso de floculación se usa en conjunto con el de flotación en el arreglo mostrado en la figura (VI j). El tratamiento elimina color, turbidez (hasta 30 mg/l sin filtración) y aceite (hasta 10 mg/l o menos).

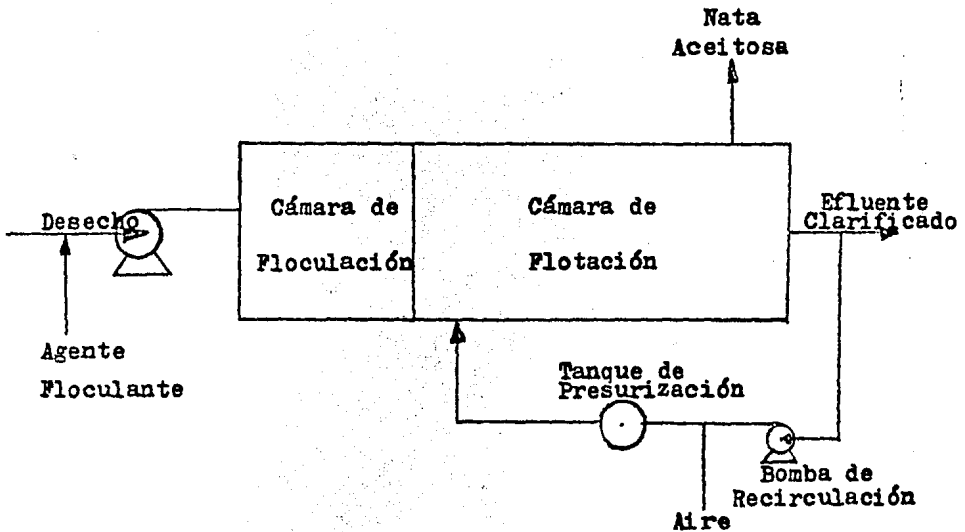


Fig.(VI j) Proceso Floculación - Flotación

VI.6.- Métodos de Tratamiento Biológicos

Los métodos de tratamiento biológicos, son ampliamente usados en la industria, estos incluyen sistemas como: Lodos activados, fil - tros rociadores o goteadores, lagunas aeradas y lagunas de esta bilización; en este tipo de tratamientos se tratan de simular -- las reacciones que ocurren en una corriente natural; así se eliminan del 40 hasta más del 95% de la demanda bioquímica de oxígeno (DBO) de las aguas residuales industriales.

a) Lodos activados

La expresión anterior, bien podría substituirse por la de "lodos activos", refiriéndose así a la presencia de microorganismos vivos, que son los promotores de las reacciones de biodegradación.

Desde el punto de vista del arreglo físico, el proceso de lodos activados puede tener 3 variaciones básicas, que se pueden clasificar como sigue:

- Convencional
- Estabilización-Contacto
- Aeración por pasos

En el proceso convencional mostrado en las figuras (VI k), se contemplan 4 etapas:

- 1) Sedimentación primaria para eliminar materia orgánica sedimentable y sólidos suspendidos.
- 2) Aeración de la mezcla de desecho y lodos activos.
- 3) Separación de los lodos por medio de sedimentación.
- 4) Recirculación de parte de los lodos y eliminación de otros.

El proceso, puede operarse de 2 formas:

- Flujo tapón, que emplea tanques rectangulares, la aeración es

máxima a la entrada,decreciendo a lo largo del tanque.La recirculación de lodos se practica hacia la carga del reactor. Mezcla total o flujo cruzado;este arreglo recircula los lodos al tanque mismo,la aereación es igual en todo el tanque, ocurriendo por ello un mezclado total.

Este arreglo tiene la ventaja de que el tanque sirve como tanque de igualación,cuando existen variaciones en el gasto.

El proceso estabilización-contacto que también se muestra en las figuras(VI k),es aplicable a desechos que contienen altas cantidades de materia suspendida y coloidal,esta es eliminada al ocurrir floculación de coloides y aglomeración de sólidos suspendidos por activación de lodos:esto ocurre en períodos de retención cortos del orden de 15 a 30 min.Posterior a el período de contacto,el lodo es separado de la solución clarificada por sedimentación y se transfiere a un tanque de estabilización donde se acondicionan y se oxigenan para entrar en contacto con el nuevo desecho influente.

El proceso de aereación por pasos incluye la adición de desechos escalonadamente a lo largo del tanque de aereación, en paralelo con la recirculación de lodos,homogeneizando la carga orgánica y las velocidades de demanda de oxígeno a través de todo el tanque

El tiempo de aereación en esta forma del proceso de lodos activados,es de 2 a 4 horas.

El proceso se observa en las figuras(VI k).

El proceso Lodos Activados,es conveniente se lleve a cabo después de un tratamiento primario,el cual debe eliminar concentraciones gruesas de sólidos suspendidos,sedimentables,aceites,grasas,metales tóxicos,acidez y/o alcalinidad,fenoles y sulfuros.

b) Lagunas de estabilización

Una fosa de estabilización es un estanque sin aereación mecánica, existen:

- Estanques anaeróbicos
- Estanques aeróbicos naturales
- Estanques facultativos
(anaerobias-aerobias)

-Estanques anaeróbicos

En un estanque anaeróbico, la cantidad de O_2 transferido a través de la superficie del líquido es menor que la proporción de oxidación de la materia orgánica en el estanque. Las reacciones biológicas anaeróbicas forman ácidos orgánicos y metano. La capacidad de estos estanques para reducir la carga orgánica de un efluente es limitada y en general desarrollan malos olores.

-Lagunas o estanques aerobios naturales

Estas toman su O_2 del generado por el desarrollo de algas; así que el factor determinante en la laguna es la profundidad de ésta; la profundidad debe ser tal que permita el paso de la luz solar ya que esta es usada en el proceso fotosintético por las algas. Generalmente la profundidad es de no más de 45 cm. de esta manera se asegura tener condiciones aerobias en los lodos sedimentados y suministro uniforme de O_2 . El retiro de las algas del efluente se hace necesario para minimizar la demanda de O_2 de las aguas receptoras y para evitar mal aspecto y olor.

-Lagunas facultativas

Estas se dividen en 2 procesos aeróbico y anaeróbico. La capa aeróbica superficial tendrá variaciones diurnas aumentando el contenido de O_2 durante el día y decreciendo durante la noche. La capa superficial de agua contiene sistemas de bacterias aeróbicas y algas. En el fondo del estanque se desarrollan procesos anaeróbicos ya que los lodos depositados en el fondo experimentan des-

composición anaeróbica, produciendo metano y otros gases.

c) Lagunas aereadas

Estas son fosas más profundas que las de estabilización, son construcciones igual de simples, pero en éstas, como el nombre lo indica, se usan aeradores mecánicos para proveer de oxígeno, desgasificar el agua y mezclarla homogéneamente, sus profundidades varían entre 3 y 4 m. Los niveles de turbulencia en este tipo de lagunas tienen que ser bastante altos para asegurar uniformidad en el O_2 disuelto y mantener sólidos en suspensión. Normalmente el nivel de turbulencia es insuficiente por lo que los sólidos llegan a depositarse en el fondo donde se experimenta descomposición anaeróbica, por lo que en un momento dado, esta laguna actuará como facultativa.

En la práctica, se aplica a las aguas un tratamiento en 2 etapas, que son:

- Laguna de oxidación(aerada)
- Laguna de estabilización

Las ventajas de una laguna aerada son las siguientes:

- Fácil operación
- Fácil mantenimiento
- Capacidad para disipar calor cuando se desea.

Las desventajas son:

- Area requerida grande
- Pérdidas de sólidos en el efluente

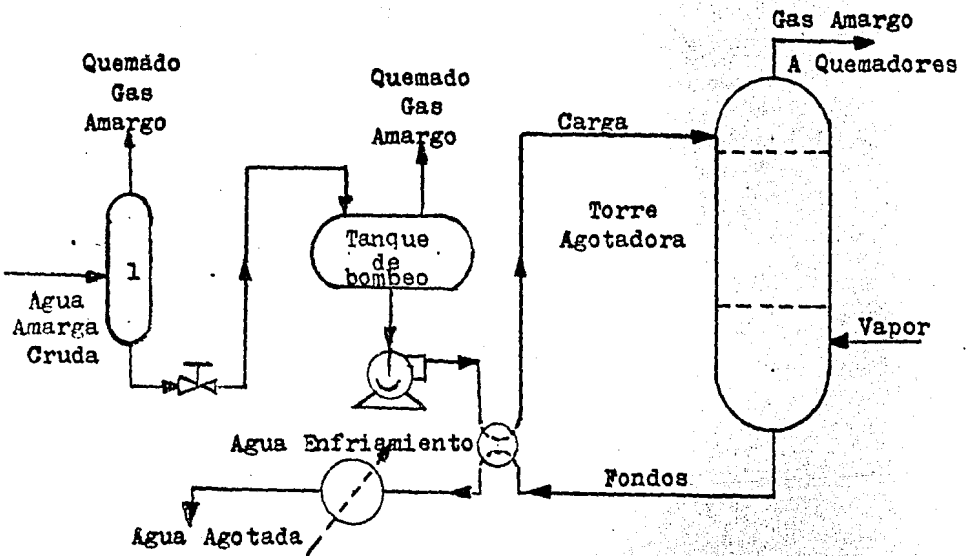
En este tipo de lagunas ocurre la biodegradación de los hidrocarburos en toda su variedad, desde gases hasta parafinas.

El arreglo de los procesos de tratamiento; ya sean estos físicos químicos o biológicos, depende de las características de las aguas residuales de cada refinería, así como del grado de depuración que de estas se requiera.

Petróleos Mexicanos propone y estandariza los métodos para tratar las aguas residuales de refinerías, como lo indica la figura (Vl 1). En la figura es posible observar, que la secuencia de tratamientos esta dividida en tres bloques (sin considerar a los tratamientos en planta; ya discutidos), los cuales son y funcionan de la manera siguiente:

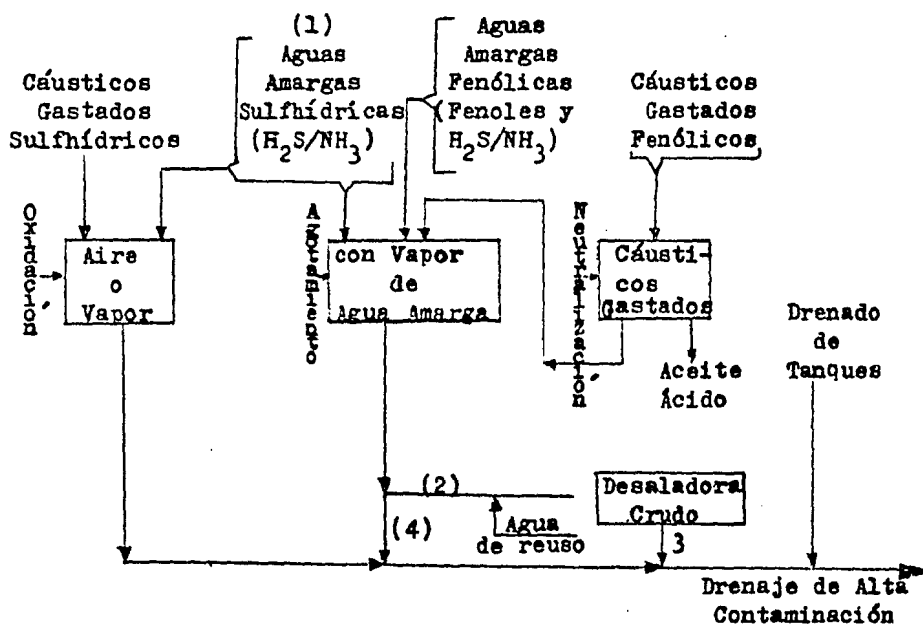
<u>Categoría</u>	<u>Función</u>
Tratamiento Primario	Eliminación de cantidades grandes de hidrocarburos y sólidos.
Tratamiento Intermedio	Control de pH de las aguas que entran a tratamiento subsecuente, y reducción de la Demanda Inmediata de oxígeno, así como de concentraciones pico de contaminantes. En este paso, cuando se usan procesos de floculación es posible eliminar la fase coloidal dispersa. Se reduce la DBO y la DCO con lo que se optimiza el funcionamiento de los procesos siguientes.
Tratamiento Secundario	Eliminación de orgánicos disueltos y amoníaco, sulfuros, fenoles, etc.

Fig.(VI b)Proceso Típico de Agotamiento de Aguas Amargas



La figura se refiere a una agotadora de vapor en la cual el equipo 1, es una torre acumuladora de agua amarga cruda; el tanque de bombeo es también un acumulador de agua cruda que se bombea a la torre agotadora. La cual es una torre con 2 secciones en la que se lleva a cabo el proceso anteriormente descrito.

Fig.(VI c) Pretratamientos en Planta Aplicados a las Aguas Altamente Contaminadas de Proceso.



(1) Normalmente, si las aguas amargas no contienen fenoles, pueden ser oxidadas.

(2) El agotamiento elimina alrededor de 98% de H_2S , 95% de NH_3 y 20% de fenoles, el pH de las aguas agotadas, está entre 9-10; puede contener algunos crudos, y NH_3 residual

(3) La desaladora elimina muchos de los fenoles y el H_2S de las aguas. Estas corrientes contendrán 0-10 ppm por peso de H_2S , 10-25 ppm por peso de fenoles, 100 a 300 ppm por peso de aceite.

(4) El contenido de H_2S es alrededor de 10-150 ppm por peso; el de NH_3 es de 50-500 ppm por peso el pH es 9-10

		Contenido en		
Sistema	Corriente	Solidos disueltos	Aceite	Penol Sulfu.
Aguas Aceitosas	-Aguas pluviales en zona de proceso	1	2	1
	-Aguas contraincendio	-	-	-
	-Torres de enfriamiento	1	1-3	-
	-Aguas pluviales en zonas de almacenamiento de productos (excepto GLP y gasolinas)	1	2	1
	-Area de calderas	-	-	-
	-Area de talleres	-	-	-
	-Area de tanques -Etc.	-	-	-
Aguas Limpias	-Efluentes planta de tratamiento de agua cruda	2	1	1
	-Purgas de calderas	2	1	1
	-Aguas pluviales en zonas no contaminadas, oficinas, etc.	1	1	-
	-Aguas sanitarias -etc.	-	-	-
Aguas de Proceso	-Efluentes del desalador	2	2	2
	-Efluentes del tratamiento de las aguas sulfhídricas y amoniacales	2	1-4	2
	-Efluente del tratamiento de sosa gastada	1-4	1-4	1-4
	-Purgas de agua del almacenamiento del crudo.	2	2	2
Aguas Aceitosas con TEL	-Purgas limpieza de tanques de gasolina	2	2	1
	-Aguas pluviales en zona de almacenamiento de gasolina y preparación TEL.	1	1	1

Figura(VI d) Segregación Común de las Aguas Residuales de Refinería.

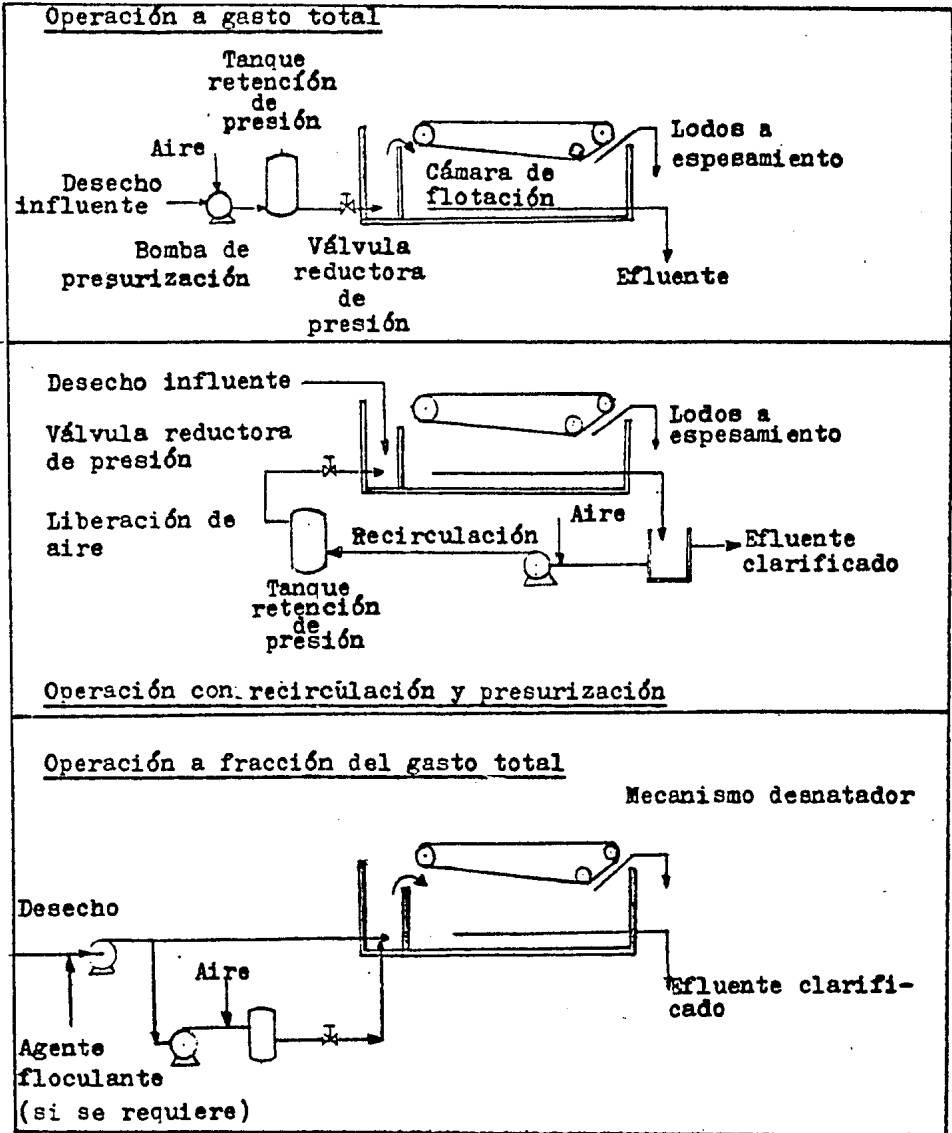
1=Contenido bajo

2=Contenido alto

3=Contaminación ocasional alta por rotura de los cambiadores de calor

4=Contaminación ocasional alta por mal funcionamiento del equipo.

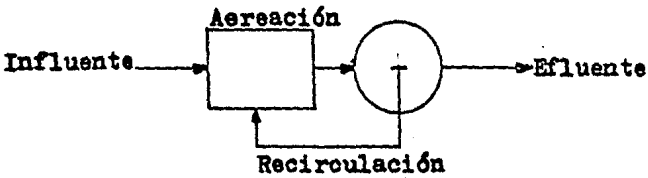
Las figuras siguientes muestran cada uno de los sistemas de Flotación con aire disuelto que se enunciaron.



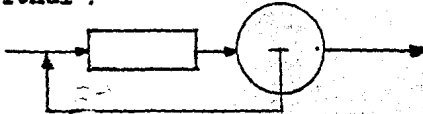
Fig(VI f) Variantes del Proceso de Flotación con Aire Disuelto

Figs.(VI k) Variaciones del Proceso Lodos Activados.

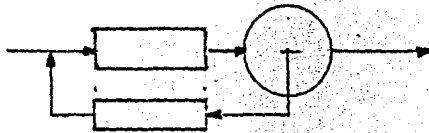
-Proceso Mezcla total



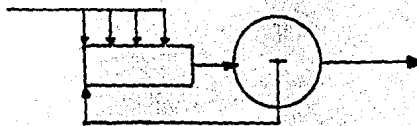
-Proceso convencional .

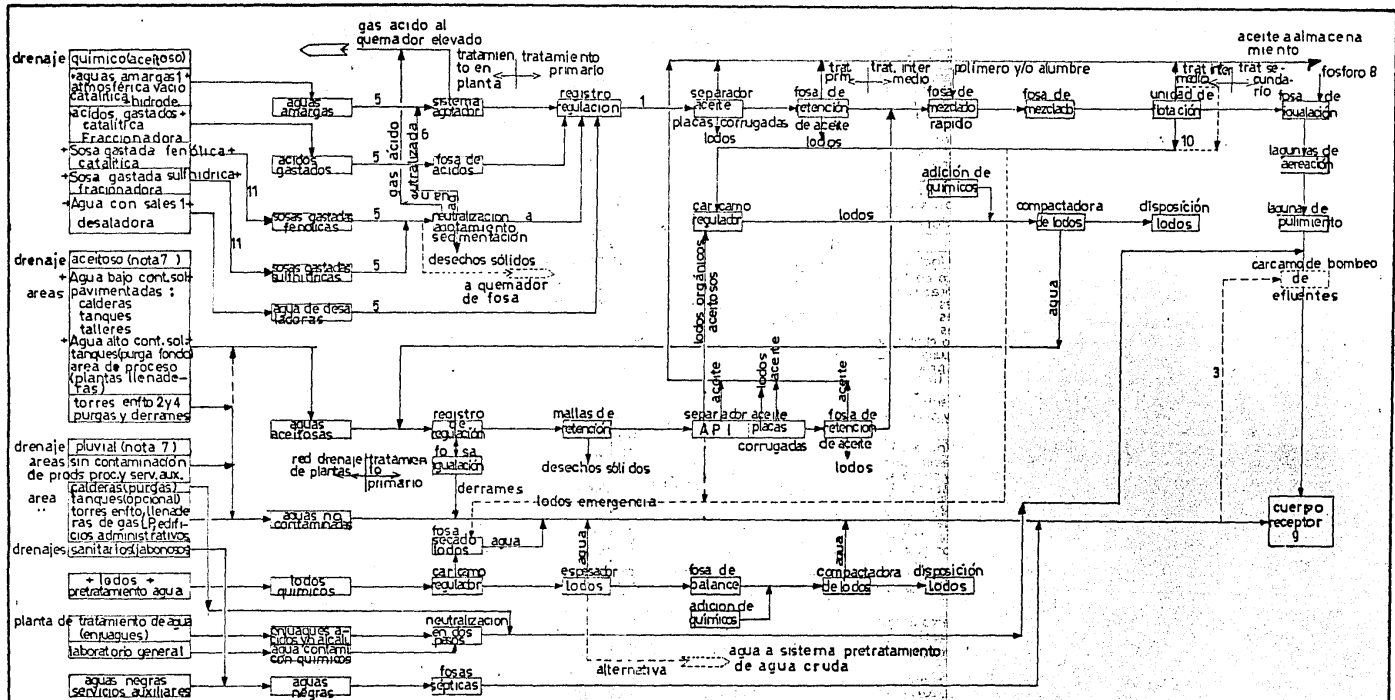


-Estabilización-contacto



-Aereación por pasos





NOTAS

- 1 Se presenta el gasto máximo cuando se utiliza agua fresca en desaladoras, normalmente los fondos del agotador son usados en desaladoras
- 2 Se considera el uso de fosfonatos y no de cromatos en las torres de enf.
- 3 Cuando el efluente no fluya por gravedad, se enviara por bombeo
- 4 Derrames de torres de enf. para servicio de turbogeneradores iran al drenaje pluvial con opción de enviarse al aceitoso
- 8 Drenaje presurizado
- 6 Alternativa de operación (b-----4)

- 7 No se contempla la presencia de catalizadores ni de metales en los efluentes de las plantas
- 8 El nitrógeno que se utiliza como nutriente se encuentra en el N₂ que existe en el efluente
- 9 Es conveniente unir el efluente tratado con el drenaje pluvial y sanitario antes de su descarga al cuerpo receptor
- 10 Si se usa alumbre el aceite va a trat. de lodos orgánicos
- 11 Flujo intermitente

TESIS PROFESIONAL	
JIMENEZ VELASCO MARIO	
Refinerías Segregación de Drenajes y Tratamiento de efluente	
INGENIERIA CIVIL	UNAM

CAPITULO VII
TRATAMIENTOS PRIMARIOS

VII.1-Introducción

Dentro de los tratamientos primarios aplicados a las aguas residuales de refinerías, encontramos algunos equipos y/o procesos que son persistentemente usados por causa de su alta eficiencia en depurar las aguas de desecho de estas industrias. Es conveniente por lo tanto enunciar las bases de diseño de estos equipos y/o procesos.

VII.2-Separador por Gravedad Agua-Aceite

El separador Agua-Aceite más usado es el que propone el Instituto Americano del Petróleo (API), aunque esta siendo modificado o substituído por otro tipo de separador desarrollado hace poco tiempo; este es el separador de placas paralelas.

Los separadores se dimensionan en una base arbitraria, como un tiempo de retención de 20 minutos o una velocidad horizontal del flujo de 12 ft/min. Se seleccionan profundidades y anchuras prácticas para dar la velocidad. El equipo de extracción de lodo se omite, excepto cuando hay presente materia sedimentable.

A) Información requerida para el diseño

Características del agua de desecho

- 1) Gastos máximo y medio (ft^3/min)
- 2) Peso específico del agua de desecho, S_m
- 3) Temperatura del influente, $^{\circ}\text{F}$
- 4) Viscosidad dinámica, μ en poise; $1 \text{ poise} = \frac{\text{gr}}{\text{cm seg}}$
- 5) Velocidad horizontal máxima permisible, V_h en ft/min

B) Procedimiento de diseño

Los separadores API se diseñan con las siguientes restricciones:

- a) Velocidad horizontal máxima, $V_h = 3 \text{ ft}/\text{min}$ ó $15 V_t$
- b) Profundidad $d = 3 \text{ ft}$ mínima a 8 ft máxima
- c) Relación profundidad a anchura, $d/B = 0.3$ mínima a 0.5 máxima

d) Anchura, $B=6\text{ft}$ mínima a 20ft máxima; Longitud, $L=F\left(\frac{V_h}{V_t}\right)$

e) Area horizontal mínima, $A_h=F\left(\frac{Q_m}{V_t}\right)$; F se obtiene: Fig(VII'a)

f) " vertical(transversal) $A_c = \frac{Q_m}{V_h}$

g) Velocidad ascendente de glóbulos de aceite

$$V_t=0.0241\left(\frac{S_w - S_o}{\mu}\right)$$

Donde: V_t =Velocidad ascendente de los glóbulos de aceite en el agua de desecho, ft/min

S_w =Peso específico del agua de desecho a temperatura de diseño

S_o =Peso específico del aceite a la misma temperatura

Notas: Como ya se dijo, la operación de un separador Agua-Aceite depende sobre todo de la diferencia entre el peso específico del agua y el aceite; el separador Agua-Aceite común del API es generalmente de forma rectangular, que básicamente provee una zona en la cual el aceite se eleva y forma una nata en la superficie que puede ser eliminada.

Existe la forma circular de separador Agua-Aceite, pero -- las pruebas y experimentos se han hecho sobre separadores de forma rectangular; por lo que se recomienda siempre que sea posible, recurrir a la forma rectangular

-Las varias áreas o secciones transversales mínimas, tanto horizontales como verticales y relaciones entre la profundidad y el ancho del separador, así como la velocidad de los glóbulos de aceite en el agua, se basan en la Ley de Stoke; para la velocidad terminal de esferas en un medio líquido, que es aplicada como el movimiento de los glóbulos de aceite (con diámetro de 0.015 cm) en un medio líquido.

c) Ejemplo

Diseñe un separador API para las siguientes condiciones:

a) Agua de desecho

Flujo máximo, $Q_m=800$ cfm

Temperatura = 105°C

Peso específico, $S_w=0.992$

Viscosidad dinámica = 0.0065 poise

Velocidad horizontal máxima permisible, $V_h=15V_t$ ó 3 ft/min; la que sea menor.

b) Glóbulos de aceite en el agua de desecho.

Diámetro: $D=0.015$ cm

Peso específico, $S_o=0.920$

Velocidad de ascenso:

$$V_t = \frac{(0.992 - 0.92) 0.0241}{0.0065}$$

$$V_t = 0.267 \text{ ft/min}$$

velocidad horizontal máxima permisible:

$$V_h = 15(0.267) = 4 \text{ ft/min}$$

$$\begin{aligned} V_h \text{ calculada} &> V_h = 3 \\ &\text{por lo tanto} \\ V_h &= 3 \text{ ft/min} \end{aligned}$$

Factor de diseño

Para turbulencia y corto circuito

$$\frac{V_h}{V_t} = \frac{3.0}{0.267} = 11.2$$

de la figura (VII b); $F=1.55$

Areas mínimas y dimensiones

a) Area vertical transversal (mínima)

$$A_c = \frac{Q_m}{V_h} = \frac{800}{3} = 267 \text{ ft}^2$$

b) Número de canales, n:

El canal más grande y práctico es de 20 ft de ancho por 8 ft - de profundo y área de 160 ft². La relación del área total requerida a la del canal más grande es:

$$\frac{267}{160} = 1.67$$

Por lo tanto, se necesitan 2 canales, cada uno con capacidad para 400 cfm.

c) Las dimensiones de un canal aceptable, suponiendo que tenga un ancho de 20 ft, es:

$$d = \frac{A_c}{E_n} = \frac{267}{20 \times 2} = 6.67 \text{ ft}$$

con la anchura y profundidad establecida de 20 y 6.67 ft, la longitud es:

$$L = \frac{V_h}{V_t} P(d) = 11.2(1.55)(6.67) = 116 \text{ ft}$$

Las dimensiones finales son:

- Número de canales=2
- Ancho, B=20ft
- Profundidad, d=6.67 ft
- Longitud, L =116 ft

Una recomendación para el diseño de este tipo de equipos es la siguiente :Cuando se requieren instalaciones de separación con canales múltiples, la profundidad de cada canal deberá ser lo más profundo posible; dentro de los límites ya indicados.

Existen nomogramas para estimaciones rápidas del diseño de estos separadores, que tienen aplicaciones para diferentes gastos de diseño. El ejemplo anterior, resuelto sobre el nomograma es más que explicativo del uso de ellos. Las figuras (VII c) los muestran.

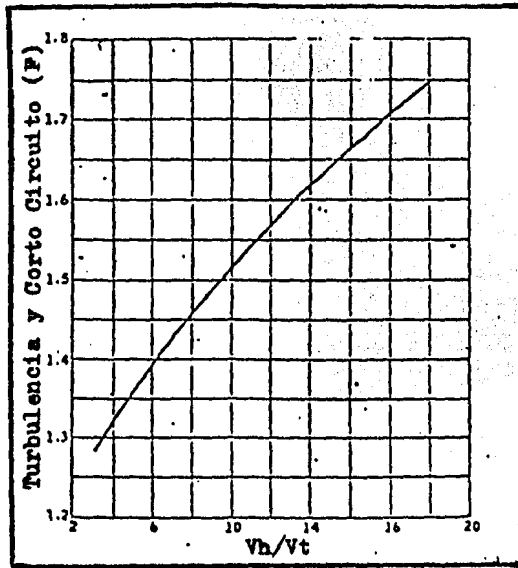
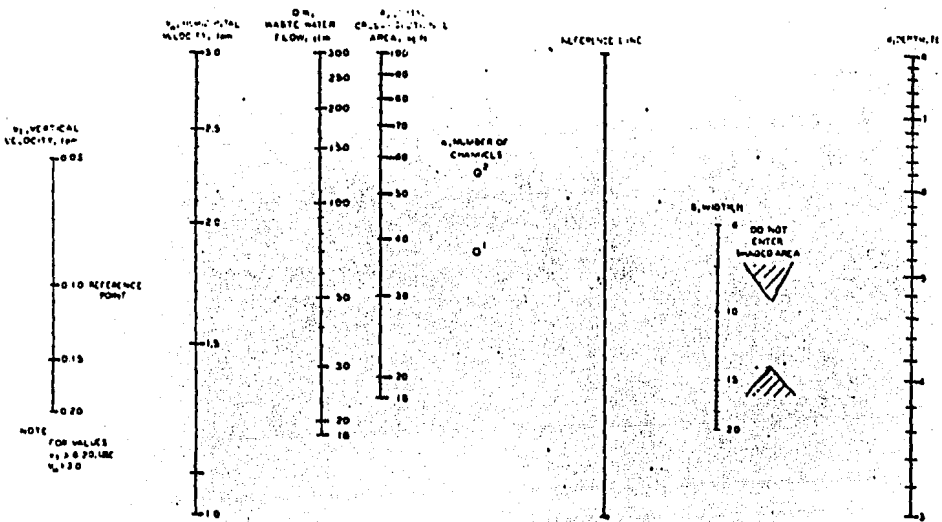
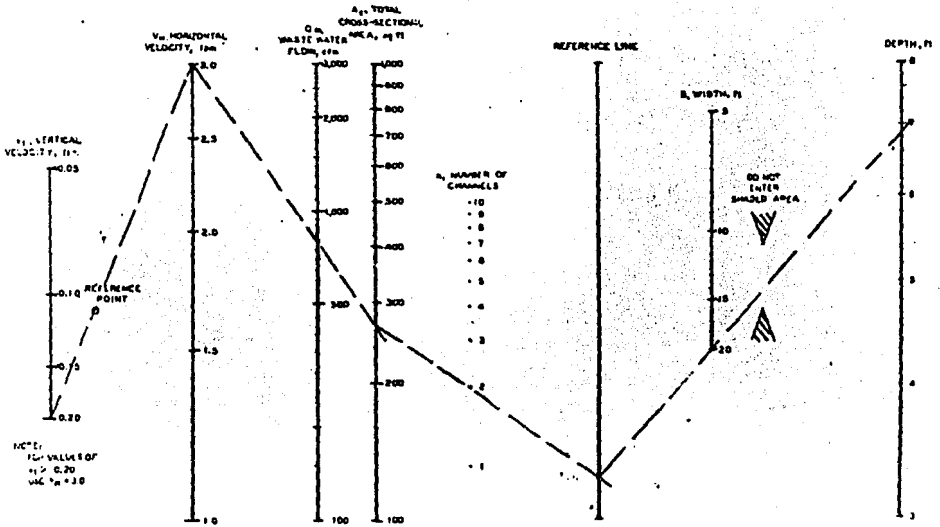


FIGURA (VII a)



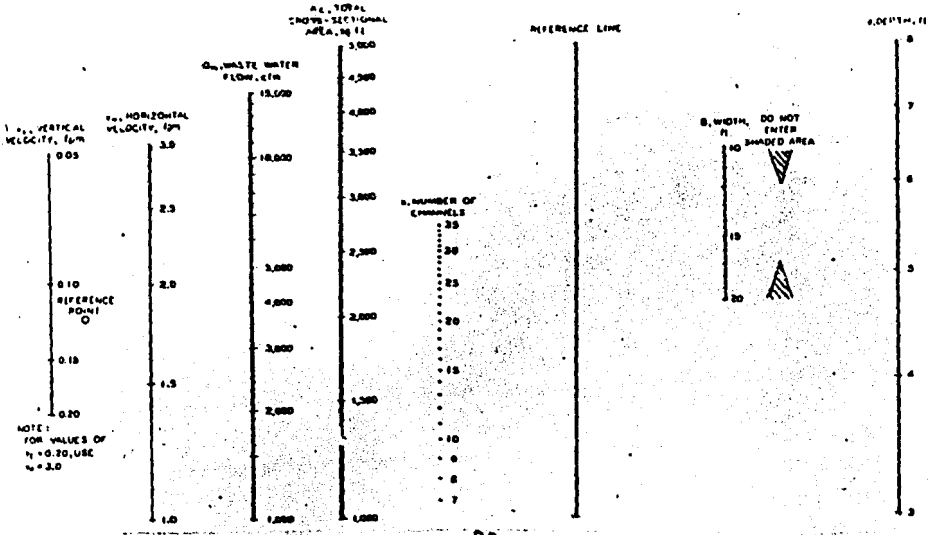
(a) Para diseño de separadores con gastos de entre 18 y 300 $\frac{ft^3}{min}$

Figs. (VII b) Nomogramas



(b) Para diseño de separadores con gastos de entre 100 y 3000 $\frac{ft^3}{min}$

(c) Para diseño de separadores con gastos de entre 1000 y 5000 $\frac{ft^3}{min}$



VII.3.- Flotación con Aire Disuelto

El método es usado más como tratamiento secundario de efluentes, que como tratamiento primario de éstos; pero es conveniente enunciar sus bases de diseño, por ser el proceso uno de los más comúnmente usados en el tratamiento de las aguas residuales de refin_{erías}.

La flotación con aire disuelto depende de la presencia de burbujas de aire suficientes, para flotar substancialmente a todos los sólidos. Una cantidad insuficiente de aire implica solo flotación parcial y rendimiento ineficiente del sistema; en base a lo anterior las variables de diseño para el sistema incluyen la presión, gasto de recirculación, carga hidráulica, carga de sólidos y período de retención. La carga de sólidos se considera cuando la flota con aire disuelto se usa para espesar lodos. El sistema se mantiene generalmente a una presión de 40 a 60 psig (3 a 5 atm). Normalmente se aplica una relación de recirculación de 30 a 40 % para pretratamiento de desechos aceitosos, con la carga hidráulica variando de 1 a 4 gal/min/ft² (incluida recirculación), y un período de retención generalmente entre 20 y 40 min.

-Aire en solución y liberado

La saturación del aire en el agua, es directamente proporcional a la presión, e inversamente proporcional a la temperatura. La solubilidad del aire en el agua se ha obtenido experimentalmente y se muestra en los datos de la figura (VII c).

La cantidad de aire que se libera cuando la presión del sistema se reduce hasta la atmosférica, se puede calcular con la ecuación siguiente:

$$A^{\#} = RCs \left[f \left(\frac{P}{14.7} + 1 \right) - 1 \right] 8.34$$

donde: Cs = Saturación de aire a la presión atmosférica, mg/l
f = fracción de saturación de aire disuelto obtenida en el tanque de presurización.

P = presión manométrica

La cantidad de aire liberado dependerá de las condiciones de --
 turbulencia de la mezcla, del punto de reducción de presión y --
 del grado de saturación obtenido en el sistema presurizado. El --
 factor f en la ecuación corrige a esta por efectos de solubili-
 dades de aire menores en desechos industriales, que en el agua;--
 el factor corrige a la ecuación anterior también ya que el gra-
 do de saturación aumenta al diseñar el tanque de retención --
 a presión; f será tomado como 0.8

Temperatura		Solubilidad. en peso ml/l	Solubilidad en peso mg/l
$^{\circ}$ C	$^{\circ}$ F		
0	32	28.8	37.2
10	50	23.5	29.3
20	68	20.1	24.3
30	86	17.9	20.9
40	104	16.4	18.5
50	122	15.6	17.0
60	140	15.0	15.9
70	158	14.9	15.3
80	176	15.0	15.0
90	194	15.3	14.9

Fig.(VII c) Solubilidad del Aire en el Agua

El rendimiento de una unidad de flotación en términos de cali-
 dad del efluente y concentración de sólidos en el flotador, pue-
 de ser relacionado con el parámetro aire/sólidos ($A^{\#}/S$), que es --
 definido normalmente como libras de aire liberado/libras de só-
 lidos en el influente de desecho. Las relaciones para los siste-
 mas con recirculación o sin; se muestran a continuación:

$$\frac{A^{\#}}{S} = \frac{Cs}{Xo} \left[f \left(\frac{P}{14.7} + 1 \right) - 1 \right] \quad \text{Sin recirculación}$$

$$\frac{A^{\#}}{S} = \frac{RCs}{QXo} \left[f \left(\frac{P}{14.7} + 1 \right) - 1 \right] \quad \text{Con recirculación}$$

La relación $A^{\#}/R$ y el funcionamiento del proceso puede determinarse por los procedimientos experimentales adecuados.

El efecto del pretratamiento químico es extremadamente importante, particularmente cuando se van a eliminar componentes solubles, coloidales o emulsificados del desecho. Se añaden comúnmente alumbre o polielectrolitos como agentes floculantes. La adición de reactivos puede juzgarse por procedimientos de laboratorio; si los beneficios de la adición de reactivos se garantizan, entonces se hace esencial un tanque de mezclado rápido y una cámara de floculación, para asegurar la máxima eficiencia de flotación.

Dado que el diseño de flotación, se basa en la velocidad ascendente de las partículas, la importancia del tamaño de partícula y su dependencia en el tiempo de floculación se pone de manifiesto en publicaciones que llevan a resultados como los de las figuras -- (VII d) y e.

-Ecuaciones de diseño

Cantidad de aire liberado (sin recirculación)

$$A^{\#} = QCs \left[f \left(\frac{P}{14.7} + 1 \right) - 1 \right] \quad 8.34$$

Cantidad de aire liberado (con recirculación)

$$A^{\#} = RCs \left[f \left(\frac{P}{14.7} + 1 \right) - 1 \right] \quad 8.34$$

Cantidad de sólidos

$$S = QX_0 (8.34)$$

Area superficial (con recirculación)

$$A = \frac{Q+R}{SLR}$$

Nomenclatura:

- $A^{\#}$ = cantidad de aire liberado, lb/día
- Q = Gasto de entrada, millones de galones por día (mgd)
- f = fracción de saturación de aire disuelto en el sistema de presurización.

P=presión manométrica psig
R=flujo presurizado, mgd
A=área superficial de celda de flotación
SLR=velocidad superficial de carga, gpm/ft²
Xo=Sólidos suspendidos promedio a la entrada, mg/l
S=cantidad de sólidos en lb/día

-Información requerida para el diseño

Consideraciones de pretratamiento

1. Adición de reactivos
2. Tiempo de mezclado rápido
3. Tiempo de floculación
4. Requerimientos de ajuste de pH

Condiciones de diseño

1. Velocidad de ascenso, pulg/mm
2. Presión de operación, psig
3. Gasto a la entrada y temperatura, mgd y °F
4. Aceite a la entrada y/o sólidos suspendidos, mg/l

Criterios de diseño finales

1. Calidad del efluente, mg/l

-Desarrollo de parámetros de diseño

Pruebas de laboratorio

1. Evalúe diferentes relaciones A/S examinando el efecto de la presión y la relación de recirculación (figuras VII f y g)
2. Determine los beneficios de la floculación química y las condiciones óptimas para uso de coagulante, o sea, pH, dosificación, etc.
3. Determine los sólidos suspendidos a la entrada y la concentración de aceite.

-Problema ejemplo:

Una corriente de desecho tiene un flujo de 150 gpm y temperatura de 103°F, contiene cantidades significantes de aceite no emulsificado y sólidos suspendidos no sedimentables. La concentración de aceite y grasa, al medirse en la prueba de hexanos extractables, dió un resultado de 120 mg/l y los sólidos suspendidos son aproximadamente 130 mg/l. Dado que los materiales aceitosos son-

de origen mineral y son relativamente no biodegradables, se considera necesario reducir los niveles de aceite y grasa a menos de 20 mg/l antes de combinar esta corriente con otras y transferir el conjunto al sistema biológico.

Se efectuaron estudios de laboratorio y los resultados se presentan en las figuras (VII f, g, h, i). Se desea diseñar un sistema de flotación con aire disuelto para alcanzar la calidad deseada del efluente y predecir la cantidad de aceite y sólidos suspendidos que pueden generar un lodo.

1. Cálculo de gasto recirculado y total.

de la figura (VII i), la relación aire/sólidos ($A^{\#}/S$) óptima se toma como 0.04 lb/lb para alcanzar un nivel de aceite menor a 20 mg/l. Por lo tanto, el gasto de recirculación se calcula de la ecuación:

$$\frac{A^{\#}}{S} = \frac{R C_s}{Q X_o} \left[f \left(\frac{P}{14.7} + 1 \right) - 1 \right]$$

$A^{\#}/S = 0.04 \text{ lb/lb}$

$Q = 150 \text{ gpm} = 0.216 \text{ mgd}$ (millones de galones por día)

$X_o = 130 \text{ mg/l}$

$C_s = 18.7 \text{ mg/l}$ a temperatura de 103°F (de figura VII c)

$P = 50 \text{ psig}$ (supuesta)

$f = 0.8$ (Se puede suponer como 80% la saturación de aire que se alcanza en el tanque de retención; muchos tanques obtienen saturaciones de hasta el 90%, pero un valor de 80% se recomienda para compensar factores desconocidos.)

-Despejando R :

$$R = \frac{0.216(0.04)130}{18.7(0.8(50/14.7 + 1) - 1)}$$

$R = 0.024 \text{ mgd}$

--% de recirculación = $\frac{0.024(100)}{0.216} = 11\%$

-Por lo tanto el gasto total es:

$Q_t = Q + R = 0.216 + 0.024 = 0.240 \text{ mgd} = 167 \text{ gpm}$

-Selección de SLR

de la figura(VII h), el SLR será de 2.4 gpm/ft² basado en un aceite en el efluente menor a 20 mg/l

-Cálculo del área superficial

$$A = \frac{Q + R}{SLR} = \frac{0.240 \times 10^6 \text{ gpd}}{2.4 \text{ gpm/ft}^2 (1440 \text{ min/día})} = 69 \text{ ft}^2$$

-requerimientos de aire

$$\begin{aligned} A^{\#} &= RCs(f(P/14.7 + 1) - 1) 8.34 \\ &= 0.24(18.7)(0.8(50/14.7 + 1) - 1) 8.34 \\ &= 9.436 \text{ lb/día} \end{aligned}$$

-Conversión a cfm

$$\begin{aligned} A^{\#} &= 9.436 \text{ lb/día} / (.075 \text{ lb/ft}^3 (1440 \text{ min/día})) \\ &= 0.087 \frac{\text{ft}^3}{\text{min}} \quad (\text{cfm}) \end{aligned}$$

Para el diseño del compresor, este número generalmente se triplica para tener un factor de seguridad y así asegurar aire para alta eficiencia de disolución.

-Cálculo del volumen de la unidad de flotación y del tiempo de retención.

Suponemos 10 ft de altura

$$\text{Volumen efectivo} = 10 \text{ ft}(69 \text{ ft}^2) = 690 \text{ ft}^3 = 5161 \text{ gal.}$$

Tiempo de retención

$$t = \frac{V}{Qt} = \frac{5161}{167} = 31 \text{ min} = 0.52 \text{ Hr.}$$

-Cálculo de la cantidad de lodos

Suponemos que el aceite a la salida y los sólidos suspendidos son 15 y 20 mg/l, respectivamente, a partir de los valores de entrada de 120 y 130 mg/l.

Sólidos suspendidos eliminados totales

$$= (130 - 20)(0.216)(8.34) = 198 \text{ lb/día}$$

Aceite total eliminado

$$= (120 - 15)(.216)(8.34) = 189 \text{ lb/día}$$

La contribución de reactivos al lodo puede suponerse como aproximadamente iguales a 0.3 mg de lodo/mg de alumbre adicionado; por lo tanto, el lodo adicional es:

$$\begin{aligned} &= 0.3(50 \text{ mg/l})(0.216 \text{ mgd})8.34 \\ &= 27 \text{ lb/día} \end{aligned}$$

Lodo total

$$= 198 + 189 + 27 = 414 \text{ lb/día}$$

-Dimensiones

La experiencia indica que la relación óptima $\frac{\text{Ancho}}{\text{Largo}} = \frac{1}{4}$; no

excediendo el ancho de 22 ft.

$$A = \text{Largo} \times \text{Ancho}$$

$$69 = 4 \times \text{Ancho}$$

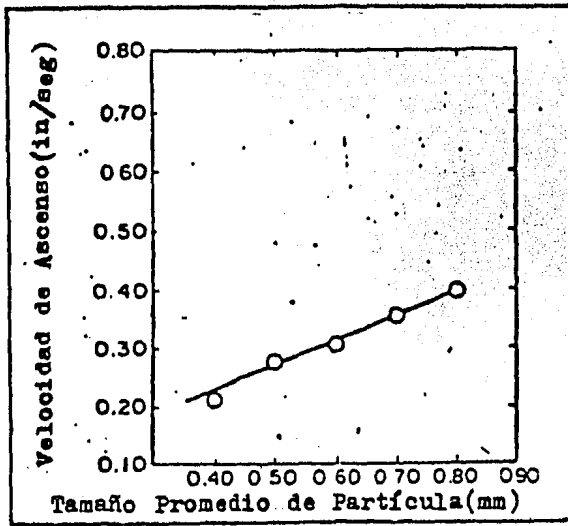
$$\text{Ancho} = \frac{(69)^{1/2}}{2} = 4.15 \text{ ft}$$

$$\text{Largo} = 4 \text{Ancho} = 4(4.15) = 16.6 \text{ ft}$$

Se toma 4.2 ft x 16.6 ft

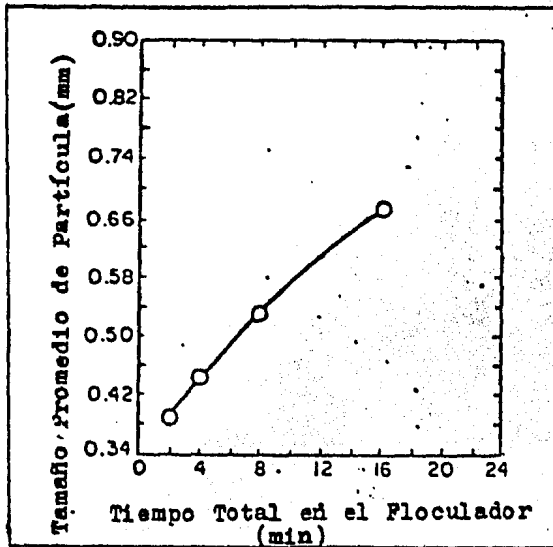
$$\underline{A = 69.7 \text{ ft}^2}$$

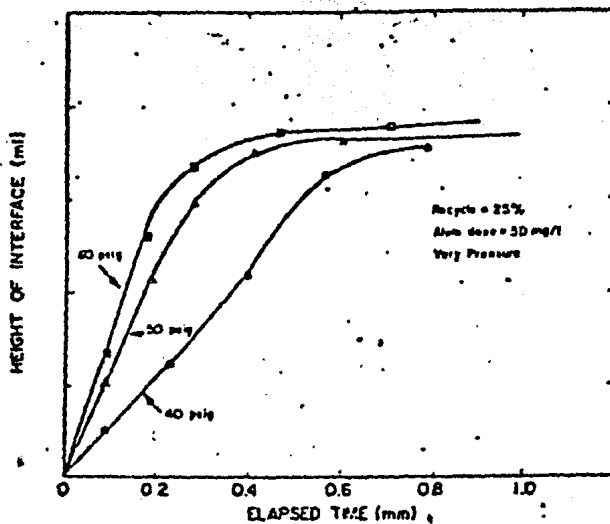
En si éstos son los dos procesos más comúnmente usados en el tratamiento de las aguas de desecho de refin^{erías}



Figura(VII d)

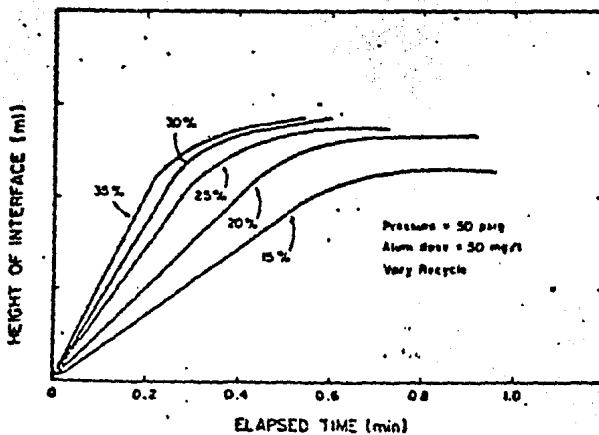
Figura(VII e)

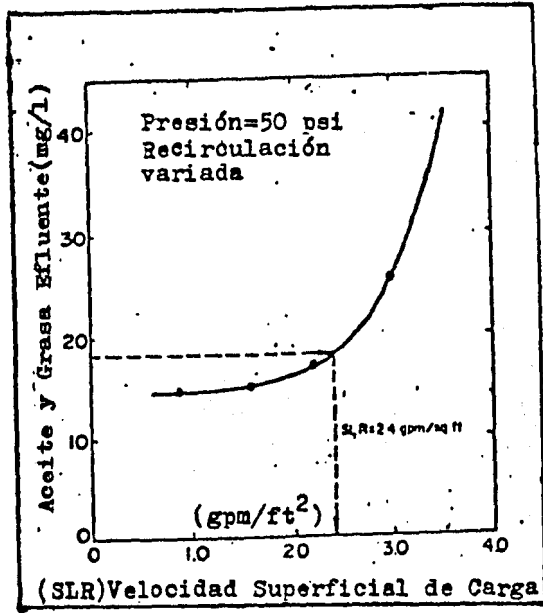




Figura(VII f)

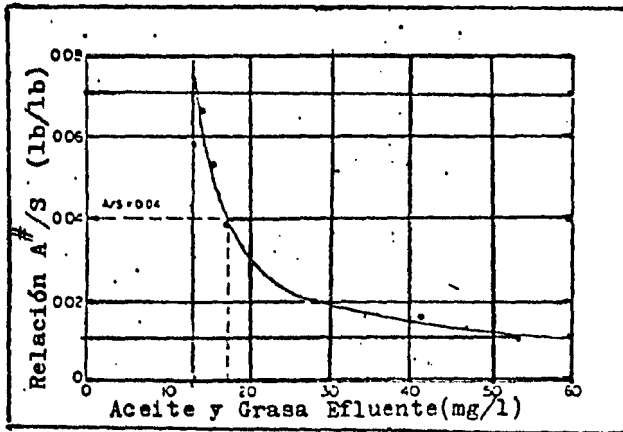
Figura(VII g)





Figura(VII h)

Figura(VII i)



CAPITULO VIII TRATAMIENTOS QUIMICOS

VIII.1-INTRODUCCION

La reducción de la demanda de oxígeno de los desechos de refinera, es generalmente llevada a cabo a través de procesos de tratamiento biológicos; sin embargo, existen otros procesos no biológicos, que en refinarias son frecuentemente usados para estabilizar las aguas residuales.

Entre los procesos no biológicos, encontramos la oxidación química, la neutralización, y la floculación.

VIII.2-Neutralización

Como ya se indicó, el método se usa en general para ajustes de pH de las aguas residuales; ya sea para prevenir la corrosión de los equipos de un tratamiento subsecuente, para que el tratamiento subsecuente tenga mayor eficiencia o para evitar descargas de aguas que puedan ocasionar daños a los cuerpos receptores.

Ya en otra parte enunciamos lo que es la neutralización, por lo que en esta se indicará :

a) Procedimiento de diseño

- 1) Desarrolle una curva en laboratorio de neutralización de pH -- contra mg de cal por litro de desecho, como la de la figura (VIII a)
- 2) Seleccione la cantidad y el tipo de reactivo que se va adicionar a partir de la figura (VIII a)
- 3) Determine el volumen del reactor en base a un tiempo seleccionado de retención para igualación y reacción de neutralización.
- 4) Dependiendo de la variación en flujo y composición del influente, las características de la curva de titulación, y el pH deseado en el efluente, el sistema de neutralización puede diseñarse como un proceso de una o múltiples fosas. Para desechos altamente ácidos, se recomienda un mínimo de 2 fosas; la tercera fo-

sa es necesaria sólo si se requiere una variación mínima en el -
efluente.

5) Diseñe el sistema de manejo de reactivo.

b) Problema ejemplo

Un desecho de 100 gpm es altamente ácido y requiere de una neu-
tralización antes de llegar al tratamiento secundario. Este gas-
to se va a neutralizar a un pH de 7. Usando cal; la curva de pH-
contra mg de cal/litro de desecho, se muestra en la figura -
(VIII a).

Solución: Usaremos un sistema de neutralización de 2 etapas; de la
curva implica que el consumo total de cal es de 2,250 -
mg/l. La primera etapa requiere de 2000 mg/l y la segun-
da de 250 mg/l .

Primera etapa: 2000 mg/l ----pH=3.5

Dosificación :

$$100 \text{ gpm} \times 1440 \frac{\text{min}}{\text{día}} \times 8.34 \times 10^{-6} \frac{\text{lb/gal}}{\text{mg/l}} \times 2000 \text{ mg/l}$$
$$= 2400 \text{ lb/día}$$

Segunda etapa : 250 mg/l -----pH=7

Dosificación :

$$100 \text{ gpm} \times 1440 \frac{\text{min}}{\text{día}} \times 8.34 \times 10^{-6} \frac{\text{lb/gal}}{\text{mg/l}} \times 250 \text{ mg/l}$$
$$= 300 \text{ lb/día}$$

Tiempo de retención:

Si seleccionamos 10 min, el volumen es:

$$V = Q(t) = 100(10) = 1000 \text{ gal}$$

Dimensiones: Suponemos una prof= 6 ft

$$A = \frac{V}{\text{prof}} = \frac{1000(1/7.48)}{6}$$

$$A = 22.28 \text{ ft}^2$$

Usando tanques de reacción circulares

$$D = \frac{4 A \sqrt{4(22.28)}}{\pi} = 5.30 \text{ ft}$$

-Potencia de mezcladores

$$= 0.3 \frac{\text{Hp}}{1000 \text{ gal}} \times 1000 = 0.3 \text{ Hp}$$

-Cantidad de cal total

$$\begin{aligned} &= 2400 + 300 = 2700 \text{ lb/día} \\ &2700 \times 1.30 = 3510 \text{ lb/día} \\ &= \underline{1.6 \text{ ton/día}} \end{aligned}$$

Si la cal llega en cargas por camión de 30 ton.
entonces la cal dura:

$$\frac{30}{1.6} = 19 \text{ días}$$

Notas:

- La cal es el material alcalino más barato y por lo mismo es el más usado en plantas de tratamiento de aguas de desecho.
Cuando se diseñe un sistema de manejo de cal, debe considerarse la incrustación, por lo que se deben adecuar instalaciones para limpieza periódica.
- Las consideraciones en un sistema de neutralización con cal son:
 - a) Almacenamiento; la cal debe ser almacenada en depósitos a prueba de aire y de agua. El sistema de almacenamiento debe ser capaz de manejar un suministro por lo menos 30% mayor que la carga del máximo transporte esperado.
 - b) Alimentación de reactivos. Existen dos tipos de alimentadores de reactivos disponibles corrientemente, dependiendo de la precisión esperada, ellos son:
 - 1) Alimentadores gravimétricos (muy precisos)
 - 2) Alimentadores volumétricos, que tienen errores del 2 al 7% en peso, pero costos aproximados a la mitad del de un alimentador gravimétrico.
 - c) Apagado de cal y suspensión. Para el apagado de cal, la reacción se acelera por agitación mecánica. La cámara de mezclado tiene un tiempo de retención aproximadamente de 10 min. El nivel de potencia de los mezcladores mecánicos, se recomienda este entre:
 - 0.2 y 0.4 Hp/1000 gal

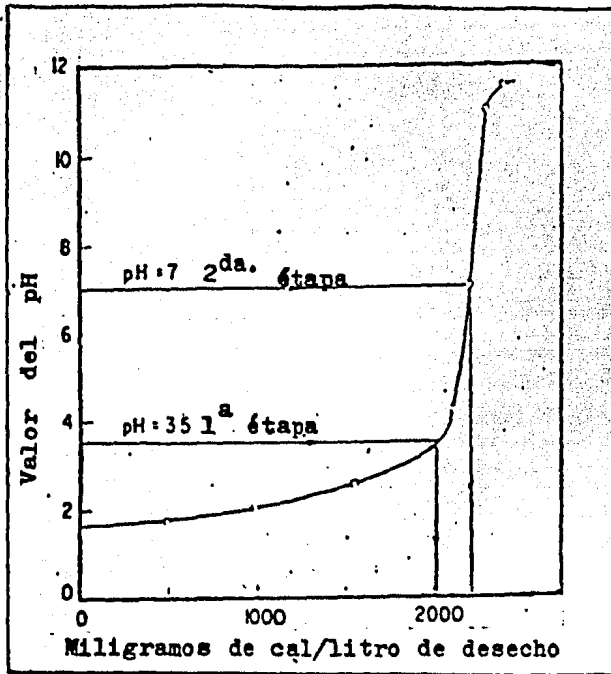


Fig.(VIII a)

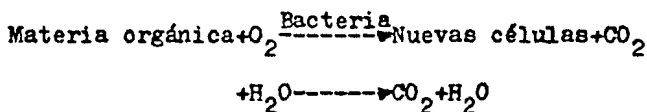
CAPITULO IX
TRATAMIENTOS BIOLÓGICOS

IX.1-Introducción

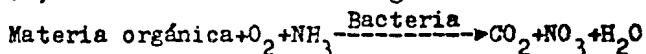
Los tratamientos biológicos, se pueden clasificar, como aeróbicos anaeróbicos, o facultativos aeróbicos-anaeróbicos. Cada uno puede ser representado generalmente como una reacción bioquímica que puede ocurrir tanto en corrientes receptoras naturales o bajo condiciones controladas en plantas de tratamiento.

-Condiciones aeróbicas

Los organismos toman el oxígeno disuelto en el agua y convierten los desechos en alimento, creando a la vez nuevas células-- Si la reacción ocurre hasta que la concentración de alimentos es limitada, las células se consumirán entre ellas y finalmente todas serán oxidadas, llegando a un estado no reactivo. La ecuación siguiente muestra la reacción básica:



Los productos parciales de la reacción final, son inactivos, estos son: CO_2 y H_2O . Cuando las cargas de desecho son bajas, una reacción secundaria transforma inicialmente el amoníaco en nitrógeno, y después a nitratos. El amoníaco no involucrado en el cultivo de células, va directamente a formar nitritos y después nitratos, como se muestra en lo siguiente:



-Condiciones anaeróbicas

En condiciones anaeróbicas, el O_2 disuelto está ausente. Los microorganismos anaeróbicos o facultativos utilizan el O_2 contenido en compuestos como los nitratos. Dos reacciones básicas ocurren: Las bacterias saprófitas producen compuestos intermedios-

como ácidos orgánicos, alcohol y metano; otras bacterias convierten estos compuestos intermedios en CO_2 y metano

IX.2-Lagunas Aereadas

Ya en el capítulo VI definimos lo que es una laguna aereada, por lo que se describirá aquí:

-Teoría y Ecuaciones de Diseño

a) Eliminación de DBO

La cantidad de DBO eliminado en una laguna aereada es definida por un balance de materiales en el sistema:

$$\text{DBO aplicado} \times \text{día} - \text{DBO degradado} \times \text{día} = \text{DBO eliminado} \times \text{día}$$

Si el sistema es completamente mezclado, resulta la ecuación siguiente:

$$L_i Q - L_e Q = L_e S_a K V$$

donde:

Q=Gasto en mgd

V=Volumen del sistema en mg

k=Coefficiente de velocidad de reacción (día^{-1})

La ec. anterior reordenada es:

$$\frac{L_e}{L_i} = \frac{1}{1 + S_a k t}$$

donde: $t = \frac{V}{Q}$ = tiempo de retención en días

L_e = DBO₅ final (mg/l) (en el efluente)

L_i = DBO₅ inicial (mg/l)

S_a = Masa de sólidos bacteriales reaccionantes por unidad de volumen o concentración de sólidos suspendidos promedio en aereación (mg/l)

k = coeficiente de velocidad de reacción o --
" " " " eliminación -
de orgánicos.

Se obtiene experimentalmente, generalmente a 20°C; cuando el sistema de tratamiento -

cuenta con una temperatura diferente a la que se determinó k; se puede corregir con:

$k_t = k_{20} \theta^{(t-20)}$. La ecuación es válida en un rango de temperatura de 10°C a 35; puede variar de 1.06 a 1.08 para sistemas en donde no existe lodo de recirculación (lagunas aeradas), y de 1.0 a 1.02 para sistemas con recirculación.

b) Sólidos biológicos

La oxidación bacteriana de material orgánico produce nuevas células, su proporción de acumulación depende de la cantidad de carga orgánica en el sistema y del tiempo de retención. En una laguna aerada la proporción de carga orgánica (relación alimento a microorganismo; lb de orgánicos aplicados/lb de sólidos suspendidos en el licor de mezcla-día) depende del tiempo de retención y de la cantidad de sólidos en equilibrio con el suministro de alimentos. Así la producción de sólidos biológicos o lodos, se calcula:

$$\Delta S = a\Delta L - bS$$

donde:

ΔS = Cambio en la masa total de sólidos (lb/día)
o producción de lodos

a = Fracción de DBO material sintetizado dentro de bacterias nuevas.

L = Eliminación de DBO (lbs/día)

b = Coeficiente de respiración endógena (lb/día)

S = Sólidos totales bajo aereación (lb/día)

Nota: Los coeficientes a y b son llamados: Coeficientes de producción de lodos.

c) Utilización de O_2

La determinación del O_2 requerido en una laguna aerada se conocerá expresada en DBO₅; el estanque reacciona para una DBO final que varía de 1.3 a 1.8 el valor del quinto día. Oxidación completa nunca se lleva a cabo de allí que la utilización

ción de O_2 es sólo de 1.2 a 1.4 de la DBO_5 . La utilización de O_2 es:

$$O_2 = a' \Delta L + b' S$$

d donde:

a' y b' Son respectivamente los coeficientes asociados con la síntesis y la oxidación. Se determinan experimentalmente, pero son difíciles de definir. Desechos industriales generalmente tienen los siguientes valores:

Coefficiente	Rango
a'	0.7 - 0.95
b'	0.05-0.12

Los coeficientes de producción de lodos (a y b) y los de utilización de O_2 , están directamente relacionados. Se indica que una demanda última de O_2 de 1.42 mg es usada por cada mg de sólidos producidos; así:

$$b = \frac{b'}{1.42}$$

El coeficiente " a " está relacionado con " a' " sabiendo que la suma de $a+a'$ debe ser igual a 1, y que debe intervenir la proporción $\frac{DBO_5}{DBO_u}$; -

así como la cantidad de O_2 necesario para la destrucción de células:

$$a = \frac{1 - a' \frac{DBO_5}{DBO_u}}{1.42 \frac{DBO_5}{DBO_u}}$$

d) Transferencia de O_2

La capacidad de transferencia de O_2 de el equipo de aereación es normalmente reportada en condiciones estándar o sea a temperatura de $20^\circ C$ con O_2 disuelto = 0 en agua pura. La cantidad -

transferida de O_2 en otras condiciones puede calcularse con la siguiente ecuación:

$$N = N_0 \left(\frac{C_{sw} - C_l}{C_s} \right) 1.024^{(T-20)} \alpha \left(\frac{P}{29.92} \right)$$

donde:

$N = O_2$ transferido por Hp-Hora bajo condiciones de operación

$N_0 = O_2$ transferido por Hp-Hr en agua pura a $20^\circ C$ y O_2 disuelto = 0

C_{sw} = Concentración de saturación del O_2 disuelto (mg/l) en el contenido de la laguna y a la temperatura de esta ($C_{sw} = \beta C_s$)

β = Proporción de saturación de O_2 en agua residual con respecto a la saturación de O_2 en agua pura

C_l = Concentración de O_2 disuelto en la laguna (mg/l)

$\theta = 1.024$

T = Temperatura de la laguna ($^\circ C$)

C_s = Concentración de saturación de O_2 disuelto en agua a $20^\circ C$ (mg/l)

α = Proporción de velocidades de transferencia de O_2 en agua de desecho con respecto a agua pura.

P = Presión atmosférica (pulgadas de Hg)

C_s = se obtiene de la figura (IX a); C_l será de 2.0 mg/l o más grande. C_{sw} es normalmente 0.95 de la concentración saturación en agua pura, variará de 0.7 a 0.9 mg/l. La transferencia de O_2 será de 2.0 a 2.5 lbs de O_2 por Hp-Hora

e) Efectos de la temperatura

La temperatura del líquido en la laguna aerada depende del balance de calor, resultado de cambios en la temperatura ambiente y temperatura del desecho.

El calor es perdido por evaporación, convección y radiación, y es ganado por radiación solar. El calor perdido por evaporación y el calor ganado por radiación solar son pequeños compa

rados con las pérdidas por convección y radiación y pueden normalmente ser despreciadas.

La pérdida de calor por convección se calcula:

$$H_c = (0.8 + 0.32 \frac{W}{2})(t_w - t_a)$$

donde:

t_w = Temperatura de la laguna

t_a = Temperatura del aire

W = Velocidad promedio del aire

La pérdida de calor por radiación sera expresada:

$$H_r = t_w - t_a$$

Combinando las ecuaciones anteriores, el balance de calor puede ser expresado:

$$fA(t_w - t_a) = Q(t_i - t_o)$$

donde :

A = Area superficial de la laguna

Q = Gasto de desecho

t_i = Temperatura del influente

t_o = Temperatura del efluente

Con mezclado completo $t_o = t_w$ y la ec. anterior se reexpresa:

$$(t_i - t_w) = \frac{(t_w - t_a)fA}{Q}$$

El coeficiente f es un factor proporcional conteniendo al coeficiente de transferencia de calor, el aumento del area superficial por aereación y efectos de humedad.

f tiene un valor máximo aproximado de 12×10^{-6} , pero varía con la región.

f) Mezclado del estanque

El mezclado del estanque depende del tipo y tamaño del equipo de aereación. No existe una teoría para explicar esto, pero correlaciones empiricas han sido desarrolladas; la figura (IX b) sirve como guía para diseño de estanques.

g) pH y balance de nutrientes en el sistema

Las lagunas aereadas operan satisfactoriamente en pH de 7.2 y 7.8. El mantenimiento de un adecuado balance de nutrientes es esencial para un adecuado rendimiento de la laguna; una propor. de 100:5:1 en cuanto a DBO:Nitrógeno:Fósforo es deseable.

h) Problema, ejemplo

Diseñar una laguna aereada para los datos de laboratorio que siguen. Resultado de un estudio de desechos de una refinería. (eliminación del 90% del DBO_5).

$Q=1.5$ mgd

$DBO_{in}=300$ mg/l

Coef. de velocidad de reacción de DBO(k)= 2.0 HR^{-1} a $25^{\circ}C$

$$\frac{DBO_5}{DBO_u} = 0.72$$

Coefficientes de uso de O_2 :

de síntesis $a'=0.8$

de oxidación $b'=0.1$

DBO asociado con los sólidos suspendidos en el efluente= $0.3 \frac{mg}{mg}$

Coefficiente de transf. de O_2 : $\alpha=0.85$

" " saturación O_2 : $\beta=0.92$

temperatura del agua en los meses críticos en la refinería= $25^{\circ}C$

" " aire $=10^{\circ}C$

DBO_5 efluente permitido= 30 mg/l

-Solución:

El método de cálculo se basa en uno de prueba y error a causa de que el nivel de sólidos en el estanque es calculable hasta que el volumen es conocido.

El DBO_5 efluente está compuesto de DBO_5 soluble y suspendido. El DBO_5 suspendido es resultado de los sólidos reactivos dejando - el estanque.

El valor más bajo que se puede esperar de un tratamiento de lagunas aeradas en cuanto a DBO_5 soluble es 10 mg/l; así el DBO_5 - asociado con la materia suspendida es entonces:

$$30 \text{ mg/l} - 10 \text{ mg/l} = 20 \text{ mg/l}$$

Sólidos suspendidos en el efluente=

$$\frac{20 \text{ mg/l}}{0.3} = 66 \text{ mg/l}$$

Para satisfacer los requerimientos de DBO , los sólidos suspendidos en el efluente y por lo tanto los sólidos en el estanque, deben ser 66 mg/l o menos.

1ª Iteración

Suponemos temperatura del agua = a la del estanque; $t_{H_2O} = 10^\circ C$

$$\begin{aligned} K_{10} &= K_{25} \theta^{(T-25)} \\ &= 2(1.04)^{(10-25)} \\ K_{10} &= 1.1 \text{ Hora}^{-1} \end{aligned}$$

-Cálculo del tiempo de retención

$$\begin{aligned} \frac{L_e}{L_i} &= \frac{1}{1 + 1.1(.066)t} \\ \frac{10}{300} &= \frac{1}{1 + 1.1(.066)t} \\ t &= 400 \text{ Horas} \approx 17 \text{ días} \end{aligned}$$

-Volumen del sistema

$$V_s = 16.7 \times 1.5 = 2.5 \text{ mg}$$

-Cálculo de b y a

$$b = \frac{b'}{1.42} = \frac{0.1}{1.42} = 0.070$$

$$a = \frac{1 - a' \frac{DBO_5}{DBO_u}}{1.42 \frac{DBO_5}{DBO_u}} = \frac{1 - 0.8(.72)}{1.42(.72)} = .414$$

-Cálculo de la producción de sólidos

$$\Delta S = 0.41((300-10)) \times 1.5 \times 8.34 - 0.07(66 \times 25 \times 8.34) = 525 \text{ lb/día}$$

-Expresado en unidades de concentración

$$S_a = \frac{525}{1.5 \times 8.34} = 42 \text{ mg/l} < 66 \text{ mg/l}$$

2ª Iteración

Suponiendo $S_a = 50 \text{ mg/l}$

$$\begin{array}{l} 50 \times 0.3 = 15 \text{ mg/l} \text{ ----- } DBO_5 \text{ suspendido} \\ 15 \text{ mg/l} \text{ ----- } DBO_5 \text{ soluble} \end{array}$$

-Cálculo del tiempo de retención

$$\frac{15}{300} = 0.05 = \frac{1}{1 + 1.1(0.050)t}$$

$$t = 345 \text{ Horas} = 14.3 \text{ días}$$

-Volumen del sistema

$$\text{Vol} = 1.5 \times 14.3 = 22 \text{ mg}$$

-Producción de sólidos

$$\Delta S = 0.41((300-15)) \times 1.5 \times 8.34 - 0.07(50 \times 22 \times 8.34) = 819 \text{ lb/día}$$

-En unidades de concentración

$$S_a = \frac{819}{1.5 \times 8.34} = 65 \text{ mg/l}$$

$$S_a \text{ supuesto} = 66 \text{ mg/l} \hat{=} S_a = 65 \text{ mg/l}$$

La misma calidad de efluente a temperatura de verano, $t = 25^\circ \text{C}$ implica $K = 2.0 \text{ Hora}^{-1}$

$$t = \frac{(300/15) - 1}{2 \times 0.050} = 190 \text{ Horas} = 8 \text{ días}$$

-El volumen ocupado sería:

$$V=1.5 \times 8 = 12 \text{ mg}$$

-La producción de sólidos es:

$$\Delta S = 0.41((300-15)1.5 \times 8.34) - 0.07(50 \times 12 \times 8.34) = 1111 \text{ lb/día}$$

-En unidades de concentración

$$S_a = 89 \text{ mg/l}$$

-Como se observa $S_a = 89/50 \text{ mg/l}$; pero como se diseña para la condición más crítica que implica tiempos más largos de retención y .'. volúmenes más grandes.

En el caso de la condición de invierno, ΔS es menor que ΔS para la condición de verano. Las condiciones finales para esta alternativa serán:

$T=10^\circ\text{C}$	$t=14.3 \text{ días}$	Invierno
	$V=22 \text{ mg}$	
	$\text{DBO}_{\text{efluente}} = 30 \text{ mg/l}$	

$T=25^\circ\text{C}$	$t=8 \text{ días}$	Verano
	$V=12 \text{ mg}$	
	$\text{DBO}_{\text{efluente}} = 30 \text{ mg/l}$	

Como se observa se requieren en este caso tiempos de retención muy grandes y volúmenes. Por lo que si se usa otra alternativa; - como por ejemplo reducción del 85% del DBO_5 lo que implicaría - $\text{DBO}_5 \text{ efluente} = 45 \text{ mg/l}$

$$\text{con } T=10^\circ\text{C y suponiendo } S_a=80 \text{ mg/l} \Rightarrow \text{DBO}_{5 \text{ef. soluble}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{l}} \right) = 45 - 24 = 21$$

$$t=151 \text{ Horas} = 6.3 \text{ días}$$

$$V=9.50 \text{ mg}$$

$$S=990.32 \text{ lb/día}$$

$$S_a=79 \approx 80$$

Con $T=25^\circ\text{C}$, $S_a=80$, $\text{DBO}_{\text{efl. susp.}} = 24 \text{ mg/l}$; $\text{DBO}_{\text{efl.}} = 21 \text{ mg/l}$; $t=83 \text{ Hrs} = 3.5 \text{ días}$; $V=5.2 \text{ mg}$; $S=1188 \text{ lb/día}$; $S_a=95.01 \approx S_a=80$.

Se diseña para la condición de Invierno, que es la crítica.

Este podría ser el diseño final, pero aún se pueden balancear mejor los tiempos y los volúmenes.

Si aparte de la laguna aerada utilizamos un estanque de sedimentación.

En este caso, podemos suponer que 100 mg/l se encuentran en suspensión y 50 mg/l sedimentan en el estanque, la salida es de --- 50 mg/l; como se requiere eliminar el 90% de la $DBO_5 = 30$ mg/l, consideramos 15 mg/l de DBO_5 soluble y 15 mg/l de DBO_5 suspendido, -- con $t = 25^\circ C$

$$\frac{15 \text{ mg/l } DBO}{0.3 \text{ mg/mg}} = 50 \text{ mg/l}$$

$$\frac{15}{300} = \frac{1}{1 + (2.0)(0.100)t}$$

$$t = 95 \text{ Horas} = 4 \text{ días}$$

$$V = 1.5 \times 4 = 6 \text{ mg}$$

$$S = (0.41(300 - 15)) \times 1.5 \times 8.34 = 1110 \text{ lb/día}$$

$$S_a = 89 \approx 100 \text{ mg/l --- supuesto}$$

Si se prueba con $t = 4$ días y suponiendo temperatura $= 10^\circ C$ y $S_a = 100$ mg/l ;

$$\frac{DBO}{300} = \frac{1}{1 + 1.1(.100)(96)}$$

$$DBO_{\text{efl.}} = 25.95 \text{ mg/l}$$

si' $\frac{30}{25.95} =$ Eliminación de 90%
 25.95 = Eliminación de 91%

La eficiencia del sistema sería 91% con un diferente nivel de - sólidos tanto en el estanque de sedimentación como en la fosa - de aereación.

Para las mismas condiciones de DBO soluble = 15 mg/l, $S_a = 50$ mg/l - en la fosa de aereación pero S_a total = 100 mg/l

Resulta: $t=7.2$ días
 $V=10.8$ mg
 $S=831.5$ lb/día

• La condición que domina es invierno

Para equilibrar aproximadamente los tiempos, podemos tomar como tiempo de diseño 6 días; este dará una eficiencia de reducción - de DBO de 91% en el período cálido y del 85% en el período frío

-Período cálido

$$\frac{DBO_5}{300} = \frac{1}{1 + 2(.100)(6 \times 24)} \quad T=25^\circ C$$

$$DBO_5=10.0 = DBO_5 \text{ soluble}$$

$$\frac{DBO_{5susp}}{0.3} = 50 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{5susp} = 15 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{efl. total} = 25 \text{ mg/l} \implies \text{eficiencia} = 91\%$$

-Período frío

$$\frac{DBO_{5sol}}{300} = \frac{1}{1 + 1.1(.100)(6 \times 24)} \quad T=10^\circ C$$

$$DBO_{5sol} = 17.81 \text{ mg/l}$$

$$DBO_{5susp.} = 15 \text{ mg/l}$$

$$Ef = 89\%$$

Requerimientos de O_2

$$O_2 = (0.8(300-15)) \times 1.5 \times 8.34$$

$$= 3600 \text{ lb/día}$$

El nivel deseado de O_2 disuelto en la laguna es 2.0 mg/l

Transferencia de O_2

$$N = 3.2 \left(\frac{7.88 - 2}{9.02} \right) 0.85(1.024)^{(25-20)}$$

$$N = 1.99 \text{ lb/Hp-Hr}$$

Para una fosa con volumen=6 x 1.5 = 9 mg

Los 79 Hp proporcionan : $\frac{79}{9} = 8.8$ Hp x mg

En la fig.13-11 entrando con Hp/10⁶ gal indica que los Hp son - adecuados para el mezclado de los sólidos suspendidos.

-Tamaño de fosa

Para hacer más práctico el funcionamiento del equipo de aereación, la fosa puede tener de 10 a 16 ft de profundidad.

Seleccionamos 14 ft

$$\begin{aligned} \text{Area} &= \frac{9.0 \text{ mg} \times .1337}{14 \text{ ft}} \\ \text{Area} &= 85,950 \text{ ft}^2 \\ &= 7990 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

Se pueden usar 2 estanques de 4000 m² c/u suministrando 50 Hp por estanque.

Estanque de sedimentación

$$\begin{aligned} S &= 1110 \text{ lb/dfa} \times 365 \text{ días} \\ &= 405,150 \text{ lbs} \end{aligned}$$

Si el 50% de estos sólidos son sedimentados fuera y consolidados al 2%; 20,000 mg/l, el volumen total almacenado para un año - de producción de lodos será

$$\frac{202,575}{0.02} \times \frac{1}{62.4} = 162,320 \text{ ft}^3$$

Permitiendo almacenamiento de 2 años más 2 días de tiempo de retención de líquido, se tiene:

$$\begin{aligned} \text{Volumen total} &= 2(162,300) + 2(1.5 \text{ mg}/7.48) \\ &= 725,700 \text{ ft}^3 \end{aligned}$$

Si profundidad=14 ft

$$\text{Area} = 51,875 \text{ ft}^2$$

El diseño sería 2 unidades para manejar este volumen; (el diseño es conservador ya que ignora la descomposición de los lodos - y supone una compactación de solo el 2%)

En lo que concierne a el sistema lodos activados;este usa las -
 mismas ecuaciones de diseño que usan las lagunas aereadas,sólo-
 que con algunas modificaciones.

Tempe- ratura	Oxígeno Disuelto,mg/l									
	0.0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9
0	14.65	14.61	14.57	14.53	14.49	14.45	14.41	14.37	14.33	14.29
1	14.25	14.21	14.17	14.13	14.09	14.05	14.02	13.98	13.94	13.90
2	13.86	13.82	13.79	13.75	13.71	13.68	13.64	13.60	13.56	13.53
3	13.40	13.40	13.42	13.38	13.35	13.31	13.28	13.24	13.20	13.17
4	13.13	13.10	13.06	13.03	13.00	12.96	12.93	12.89	12.86	12.82
5	12.79	12.76	12.72	12.69	12.66	12.62	12.59	12.56	12.53	12.49
6	12.40	12.43	12.40	12.36	12.33	12.30	12.27	12.24	12.21	12.18
7	12.14	12.11	12.08	12.05	12.02	11.99	11.96	11.93	11.90	11.87
8	11.84	11.81	11.78	11.75	11.72	11.70	11.67	11.64	11.61	11.58
9	11.55	11.52	11.49	11.47	11.44	11.41	11.38	11.36	11.33	11.30
10	11.27	11.24	11.22	11.19	11.16	11.14	11.11	11.08	11.06	11.03
11	11.00	10.98	10.95	11.93	10.90	10.87	10.85	10.82	10.80	10.77
12	10.75	10.72	10.70	10.67	10.65	10.62	10.60	10.57	10.55	10.52
13	10.50	10.48	10.45	10.43	10.40	10.38	10.36	10.33	10.31	10.33
14	10.26	10.24	10.22	10.19	10.17	10.15	10.12	10.10	10.08	10.06
15	10.03	10.01	9.99	9.97	9.96	9.92	9.90	9.88	9.86	9.84
16	9.82	9.79	9.77	9.75	9.73	9.71	9.69	9.67	9.65	9.63
17	9.61	9.58	9.56	9.54	9.52	9.50	9.48	9.46	9.44	9.42
18	9.40	9.38	9.36	9.34	9.32	9.30	9.29	9.27	9.25	9.23
19	9.21	9.19	9.17	9.15	9.13	9.12	9.10	9.08	9.06	9.04
20	9.02	9.00	8.98	8.97	8.95	8.93	8.91	8.90	8.88	8.86
21	8.84	8.82	8.81	8.79	8.77	8.75	8.74	8.72	8.70	8.68
22	8.67	8.65	8.63	8.62	8.60	8.58	8.56	8.55	8.53	8.52
23	8.50	8.48	8.46	8.45	8.43	8.42	8.40	8.38	8.37	8.36
24	8.33	8.32	8.30	8.29	8.27	8.25	8.24	8.22	8.21	8.19
25	8.18	8.16	8.14	8.13	8.11	8.10	8.08	8.07	8.06	8.04
26	8.02	8.01	7.99	7.98	7.96	7.95	7.93	7.92	7.90	7.89
27	7.87	7.86	7.84	7.83	7.81	7.80	7.78	7.77	7.75	7.74
28	7.72	7.71	7.69	7.68	7.66	7.65	7.64	7.62	7.61	7.59
29	7.53	7.50	7.55	7.54	7.52	7.51	7.49	7.48	7.47	7.45
30	7.44	7.42	7.41	7.40	7.38	7.37	7.35	7.34	7.32	7.31

Fig.(IX a) Valores de Oxígeno Disuelto de Saturación en Agua Destilada.

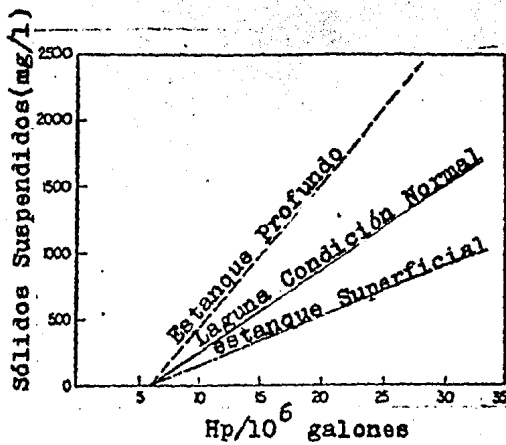


Fig.(IX b) Influencia de la Potencia Aplicada en la Suspensión de sólidos en una laguna aerada.

CAPITULO X

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

-Podemos en esta parte,concluir lo siguientes:

a)La refinación de petróleo crudo,es dentro de las actividades industriales,una de las que más influencia negativa tienen -- dentro del marco ecológico nacional,a partir de desechar substancias,que ya sea por su cantidad o características de toxicidad,infecionan o degradan ecosistemas como los acuáticos;- manifestandose esto en la pérdida de actividades productivas para el hombre,como la pesca,la navegación o la recreación. - Ejemplos abundantes de ecosistemas acuáticos ya no sólo dañados;sino destruídos,los podemos encontrar en el país,en estados como los de Veracruz,Tabasco y Chiapas principalmente.

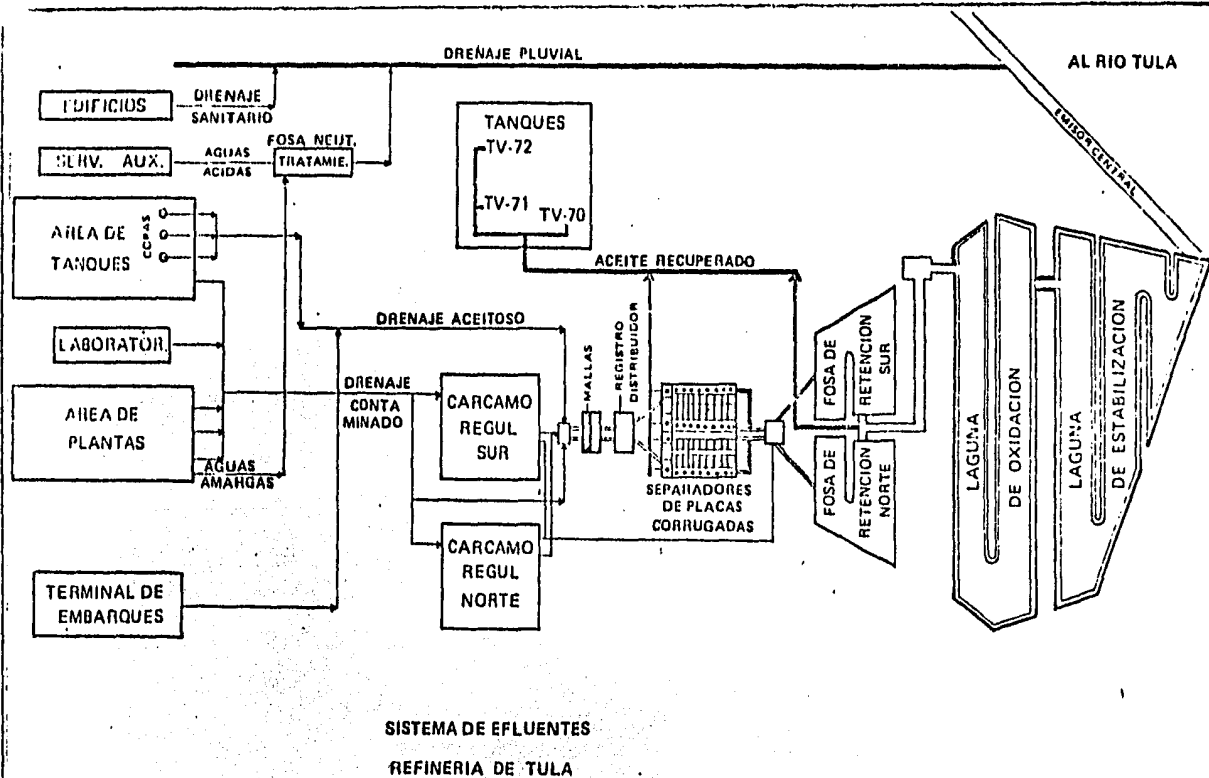
b)La afectación de los ecosistemas acuáticos por incorporación a ellos de aguas residuales procedentes de refinerías,ha sido causada más que nada debido a negligencia en cuanto a implementar equipos y sistemas que depuren las aguas.Esto lo podemos constatar de la figura(VI 1)en la cual PEMEX estandariza los métodos de tratamiento de las aguas de refinerias y de -- la figura que sigue,la cual muestra los tratamientos aplicados a las aguas residuales procedentes de la refinería ubicada en Tula Edo. de Hidalgo.Al comparar las dos figuras,se observa que a la figura que corresponde a Tula,le faltan muchos equipos de los que muestra la figura(VI 1) y que se supone -- son los necesarios para obtener efluentes que cumplan con las características de calidad que exigen las normas que se enunciaron en la figura(III).

c)Las normas vigentes en el país referentes a contaminación,no cubren a toda la gama de contaminantes que pueden resultar en refinerias;por lo que esto ha contribuído también al deterioro del medio ambiente.

Ya que la industria refinera es una de las más contaminantes, se requiere que:

- a) Si de verdad se quiere abatir el grado de contaminación ocasionado por desechos de refineras, se deben de implementar y poner en operación los equipos y sistemas que depuren (en este caso) las aguas que desechan las refineras; la tecnología existente sólo hace falta que se implemente y se adapte a las características y necesidades de cada refinería.
- b) Las normas de calidad que deben cumplir las aguas residuales antes de ser vertidas a los cuerpos receptores deben de dejar de ser letra muerta y deben también ser más específicas en lo que se refiere a contaminación por causas petroleras.
- c) Las dependencias federales encargadas de vigilar la observancia de las Leyes anti contaminación deben de verdad actuar para que estas se cumplan, en los plazos que ellas mismas señalan en los Reglamentos.

Como se puede observar, las conclusiones y las recomendaciones que hasta aquí se han dado, implican, el sólo poner en acción la reglamentación y la tecnología actual existente para disminuir los alarmantes grados de contaminación que hasta ahora produce la industria petrolera, principalmente a través de sus ramas Refinera y Petroquímica. La implementación de la tecnología adecuada para tratar desechos, tiene un alto costo, pero que es más valioso que un río, un lago o una laguna sin contaminar. A largo plazo es más costoso regenerar un cuerpo receptor que prevenir su contaminación de aquí la importancia de contar con equipo que depure los efluentes de refineras.



FACULTAD DE INGENIERIA
TESIS PROFESIONAL
JIMENEZ VELASCO MARIO
INGENIERIA CIVIL
U.N.A.M.

B I B L I O G R A F I A

- Manual on Disposal of Refinery Wastes
Volume on Liquid Wastes, American Petroleum Institute, Washington, D.C. 1969
- Eckenfelder, W.W., Jr. Industrial Water Pollution Control, McGraw Hill Book, New York, 1966
- Principles of Industrial Water Treatment, Drew Chemical Corporation, New Jersey, 1977
- Harold R. Jones, Pollution Control in the Petroleum Industry, Noyes Data Corporation (ndc), New Jersey, 1973
- Kemmer, F.N., y Odland, K. Chemical Treatment, Chemical Engineering, EUA, October 14, 1968. pp. 83-88.
- Geinopolos, Anthony y J. Katz, William, Primary Treatment, Chemical Engineering, EUA, October 14, 1968. pp. 78-82.
- Lesperance, T.W., Biological Treatment Chemical Engineering, EUA, October 14, 1968. pp. 89-94
- Murguía Vaca Ernesto, Ingeniería Ecológica, UNAM, F.I., México, 1982.
- Cursos
- Bravo O. Filemón, Apuntes del curso Tratamiento y Disposición de Desechos Sólidos Industriales, Impartido en la Refinería Miguel Hidalgo, Enero 15 de 1986.
- Martínez José Antonio, Apuntes del curso Tratamiento de Aguas de Desecho, Impartido en la Refinería Miguel Hidalgo; a través del Instituto Mexicano del Petróleo.