

2ej



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

"ESTUDIO DE LOS EFLUENTES ACUOSOS
PROVENIENTES DE LA INDUSTRIA DE RESINAS Y
PLASTIFICANTES"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERA QUIMICA
P R E S E N T A ;
CAROLINA ARRAÑAGA PICHARDO



MEXICO, D. F.

1998.

2574168

TESIS CON
FALLA DE COPIA



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente Prof. CRUZ MORALES MAURO
Vocal Prof. DURAN DOMÍNGUEZ MA. DEL CARMEN
Secretario Prof. CRUZ GÓMEZ MODESTO JAVIER
1er. Suplente Prof. LUNA PABELLO VICTOR MANUEL
2do. Suplente Prof. LÓPEZ MARTÍNEZ JOSÉ LUIS

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Planta productora de resinas y plastificantes.



Dr. M. Javier Cruz Gómez
Asesor



Ing. B. Cecilia Rodríguez Martínez
Asesor Técnico

Carolina Arrañaga P.
Carolina Arrañaga Pichardo
Sustentante

DEDICATORIAS

A mis padres

Por toda su confianza y los acertados consejos que me han dado

A mis hermanos Elizabeth y Roberto

Por ser el mejor ejemplo a seguir...

A J. Andrés

Por todo su cariño y por ser una persona tan especial en mi vida ..

A la Facultad de Química

Por todos los profesores y amigos que tuve la oportunidad de conocer...

AGRADECIMIENTOS

Al Dr. M. Javier Cruz Gómez

Por todo su apoyo.

A la empresa de resinas y plastificantes

Gracias a sus directores:

Ing. Andrés Cohen, Ing. Nicolás Ramírez de Arellano e

Ing. Carlos Ramírez de Arellano

Al laboratorio de investigación:

Ing. Cecilia Rodríguez Martínez

Ing. Alvaro Morales González

Ing. Juan Manuel Robledo

Q. Juan M. , Ing. Adriana A.

A los supervisores de producción:

Sr. Mauro Rendón, Sr. Martín Mendoza, Sr. Joaquín Luna

Al jurado:

Prof. Mauro Cruz Morales

Prof. Ma. del Carmen Durán Domínguez

Prof. M Javier Cruz Gómez

Gracias por el tiempo dedicado a la revisión de la presente tesis, por sus valiosos consejos y por compartir sus conocimientos.

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

ÍNDICE DE GRÁFICAS

ABREVIATURAS

RESUMEN 1

INTRODUCCIÓN 3

CAPÍTULO 1. OBJETIVO

1.1 Objetivo 5

1.2 Desarrollo 6

CAPÍTULO 2. ANTECEDENTES

2.1 Plásticos y resinas 7

2.2 Procesos de producción de plastificantes

2.2.1 Producción de aceite de soya 8

2.2.2 Producción de ftalato de dioctilo (DOP) 10

2.3 Pretratamientos y tratamientos primarios 15

2.3.1 Descripción de los tratamientos primarios 16

2.3.2 Coagulación y precipitación 26

2.3.3 Remoción de metales pesados 27

2.4 Tratamientos secundarios 28

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA Y ESTRATEGIA PARA LA SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

3.1 Situación actual de descargas de aguas residuales en la industria de resinas y plastificantes	40
3.1.1 Descripción de las corrientes acuosas actuales	41
3.2 Actividades desarrolladas	
3.2.1 Muestreo de aguas residuales	43
3.3 Caracterización de los efluentes acuosos	45
3.3.1 Descripción de los métodos utilizados	47

CAPÍTULO 4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Caracterización de los efluentes acuosos antes de la realización del tratamiento primario actual	53
4.2 Caracterización de los efluentes acuosos después de la realización del tratamiento primario actual	55
4.3 Caracterización de los efluentes acuosos antes de la realización del tratamiento primario propuesto	57
4.4 Caracterización de los efluentes acuosos después de la realización del tratamiento primario propuesto	59
4.5 Determinación de metales pesados y cianuros de los efluentes acuosos antes de la realización del tratamiento primario propuesto	61

4.6 Determinación de fenoles y fluoruros de los efluentes acuosos antes de la realización del tratamiento primario propuesto	62
4.7 Determinación de demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno de los efluentes acuosos antes de la realización del tratamiento primario propuesto	63
4.8 Resultados cromatográficos	
4.8.1 Agua de reacción de ftalato de dioctilo	64
4.8.2 Agua de lavado de ftalato de dioctilo	65
4.9 Análisis de resultados	66
CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
5.1 Cumplimiento con la normatividad mexicana	94
5.2 Tratamiento primario actual	96
5.3 Tratamiento primario propuesto	98
BIBLIOGRAFÍA	102
ANEXO 1. DEFINICIONES	110
ANEXO 2. NORMAS OFICIALES MEXICANAS	117
ANEXO 3. ESTUDIO DE DIFERENTES COMPAÑÍAS DEDICADAS A REALIZAR TRATAMIENTOS SECUNDARIOS	128
ANEXO 4. TOXICIDADES	137

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1.	Agentes coagulantes químicos.	27
TABLA 2.	Caracterización del agua sin tratamiento proveniente de la fosa 1	53
TABLA 3.	Caracterización del agua después del sistema de tratamiento actual proveniente de la fosa 2	55
CARACTERIZACIÓN DEL AGUA ANTES DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO		
TABLA 4.	Caracterización del agua de lavado de ftalato de dioctilo	57
TABLA 5.	Caracterización del agua de reacción de ftalato de dioctilo	58
TABLA 6.	Caracterización del agua de lavado de aceite epoxidado de soya	58
CARACTERIZACIÓN DEL AGUA DESPUÉS DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO		
TABLA 7.	Caracterización del agua de lavado de ftalato dedioctilo	59
TABLA 8.	Caracterización del agua de reacción de ftalato de dioctilo	60
TABLA 9.	Caracterización del agua de lavado de aceite epoxidado de soya	60
TABLA 10.	Metales pesados y cianuros antes del tratamiento primario propuesto	61
TABLA 11.	Fenoles y fluoruros antes del tratamiento primario propuesto	62

TABLA 12. Demanda química de oxígeno y demanda bioquímica de oxígeno antes del tratamiento primario propuesto	63
TABLA 13. Composición de la fase aceitosa del agua de reacción de ftalato de dioctilo	64
TABLA 14. Composición de la fase sólida del agua de lavado de ftalato de dioctilo	65
TABLA 15. Cumplimiento de los parámetros analizados con respecto a la normatividad mexicana	95

ÍNDICE DE DIAGRAMAS

DIAGRAMA 1. Sistema de tratamiento actual de aguas residuales	52
DIAGRAMA 2. Modificaciones al sistema de tratamiento actual	100
DIAGRAMA 3. Sistema de tratamiento propuesto	101

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Determinación de temperatura de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 1.	Antes del tratamiento primario	85
GRÁFICA 2.	Después del tratamiento primario	85

Determinación de pH de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 3.	Antes del tratamiento primario	86
GRÁFICA 4.	Después del tratamiento primario	86
Determinación de grasas y aceites de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 5.	Antes del tratamiento primario	87
GRÁFICA 6.	Después del tratamiento primario	87
Determinación de materia flotante de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 7.	Antes del tratamiento primario	88
GRÁFICA 8.	Después del tratamiento primario	88
Determinación de sólidos sedimentables de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 9.	Antes del tratamiento primario	89
GRÁFICA 10.	Después del tratamiento primario	89
Determinación de DQO de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 11.	Antes del tratamiento primario	90
GRÁFICA 12.	Después del tratamiento primario	90
Determinación de cloruros de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 13.	Antes del tratamiento primario	91
GRÁFICA 14.	Después del tratamiento primario	91
Determinación de conductividad de los efluentes acuosos		
GRÁFICA 15.	Antes del tratamiento primario	92
GRÁFICA 16.	Después del tratamiento primario	92

Determinación de sólidos suspendidos totales de los efluentes acuosos

GRÁFICA 17.	Antes del tratamiento primario	93
GRÁFICA 18.	Después del tratamiento primario	93

ABREVIATURAS

DBO	Demanda bioquímica de oxígeno
DOP	Ftalato de dioctilo
DQO	Demanda química de oxígeno
I.I.	Índice de yodo
I.O.	Índice de oxirano
NOM	Norma Oficial Mexicana
NMX	Norma Mexicana
OES	Occupational Exposure Standars
Pantopox	Aceite epoxidado de soya
SEMARNAP	Secretaría del Medio Ambiente, Recursos Naturales y Pesca
SST	Sólidos suspendidos totales
TBT	Titanato de terbutilo

INTRODUCCIÓN

Actualmente en México, las autoridades que dependen de la SEMARNAP, se han preocupado por establecer normas para el mejor manejo de desechos acuosos de las industrias que permitan un mejor control ecológico en el vertido de aguas residuales tanto a cuerpos receptores como a drenajes y alcantarillados urbanos y/o municipales, con la implementación de nuevas normas que establecen los parámetros para obtener una mejor calidad en el agua de desecho⁽¹¹⁾.

La industrialización acelerada que se ha tenido en los últimos 15 años, no permitió prever medidas estrictas para controlar estas aguas y no fue hasta la época de los 90's cuando se establecieron las normas actualmente vigentes.

Las industrias de resinas y plastificantes conscientes de esta problemática han tomado medidas adecuadas para tratar sus aguas residuales, pero debido a los cambios en las normatividad, los ha dejado de cierta forma rezagados, por lo que en la actualidad, están tomando nuevas medidas que les permitan cumplir con las últimas normas oficiales mexicanas, en donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales.

Las empresas no solamente buscan el cumplimiento de la normatividad, sino que van más allá de este propósito al tratar el agua para después recircularla a sus procesos o verterla a cuerpos receptores, drenajes, alcantarillados.

Con estos tratamientos de aguas residuales se pretende disminuir el impacto ecológico que originan las industrias en general y para que en un futuro próximo se pueda contar con un ambiente sano en el cual se desarrolle la nueva generación de mexicanos, regresando a la naturaleza su capacidad de evolucionar en forma natural.

CAPÍTULO 1

OBJETIVO

1.1 OBJETIVO

El objetivo de esta tesis es el de adecuar los efluentes acuosos provenientes de la industria de resinas y plastificantes para que cumplan con la normatividad mexicana respecto a las descargas de aguas residuales.

Las normas oficiales mexicanas que aplican a este tipo de industrias son:

- Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.
- Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL-1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

1.2 DESARROLLO

- El trabajo se encausó hacia el conocimiento de los procesos de producción de plastificantes y resinas primeramente, para así conocer la problemática de los efluentes acuíferos que produce este tipo de industrias.
- Estudio de los procesos de pretratamientos y tratamientos primarios disponibles en la literatura para poder definir cuales son los más prácticos para este caso.
- Estudio de los tratamientos secundarios conocidos para así poder escoger el más adecuado para estos procesos.
- Estudio de la situación actual de las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de resinas y plastificantes.
- Caracterización de los efluentes acuosos antes y después de la realización del tratamiento primario.
- Análisis de resultados y comparación de los resultados obtenidos de la caracterización de los efluentes acuosos después de la realización del tratamiento primario con la normatividad mexicana.
- Estudio de diferentes compañías que realicen tratamientos secundarios.
- Conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2

ANTECEDENTES

2.1 PLÁSTICOS Y RESINAS

Comúnmente, las resinas naturales son sólidos o semisólidos amorfos, caracterizados generalmente por brillo típico; con frecuencia son transparentes o translúcidas y en general tienen origen vegetal, produciéndose en forma de exudados de pinos u otras coníferas, bien sea solas o mezcladas con trementina u otros aceites esenciales. Los principales usos de las resinas son en el acabado de muebles, fabricación de barnices, jabones de baja calidad, pinturas, tintas y linóleos. Las resinas sintéticas son capaces de sustituir a las naturales y tienen mayores aplicaciones^(4, 5)

Los términos resinas y plásticos se pueden considerar como sinónimos, pero el significado de las palabras indica dos cosas distintas: una materia plástica es una sustancia relativamente dura capaz de ser moldeada, mientras que una resina carece de esa propiedad tan característica. Por regla general, un plástico es una sustancia cuyo peso molecular es mucho más elevado que el de una resina^(4, 5)

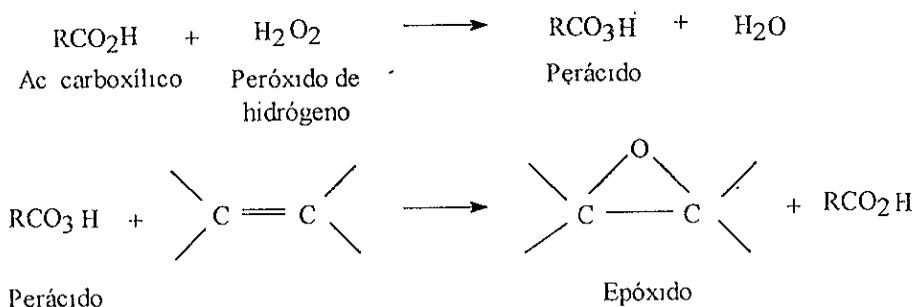
Al calentar, los plásticos típicos se ablandan lo suficiente para poder moldearlos a presión sin que lleguen a dar una fusión móvil; en cambio, al calentar las resinas se funden dando líquidos con viscosidad relativamente baja. Sin embargo la diferenciación entre ambos tipos de sustancias no es muy clara; por ejemplo, un compuesto como el poliestireno es resinoide a la temperatura ambiente y es plástico por encima de 65°C ^(4, 5)

En términos industriales, los nombres suelen tener un significado diferente: al artículo sin elaborar se denomina resina, al producto manufacturado se la llama plástico.

2.2 PROCESOS DE PRODUCCIÓN DE PLASTIFICANTES

2.2.1 Producción de aceite epoxidado de soya⁽¹⁰⁾

El proceso de epoxidación del aceite de soya es aquel en donde un perácido es generado en medio de la reacción de oxidación del ácido carboxílico con peróxido de hidrógeno:

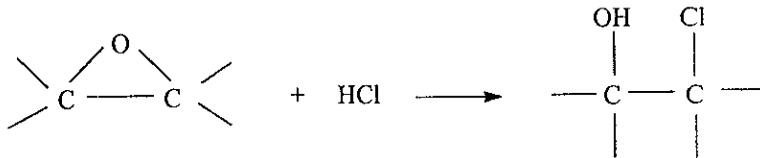
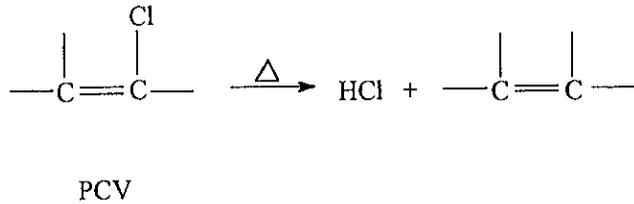


El ácido carboxílico tiene un papel catalítico, pues se regenera tras la epoxidación y queda disponible para reaccionar con el peróxido de hidrógeno.

La mezcla de reacción se halla en dos fases líquidas: acuosa y aceitosa, que forman una emulsión debido a la agitación (la cual no debe ser muy enérgica). El tiempo de reacción es de 10 a 12 horas, con una temperatura de 60°C a presión atmosférica. Después de la reacción se neutraliza el ácido carboxílico con sosa (NaOH) y se lava el producto con agua. Finalmente el epoxidado se deshidrata por calentamiento hasta 130°C y se filtra.

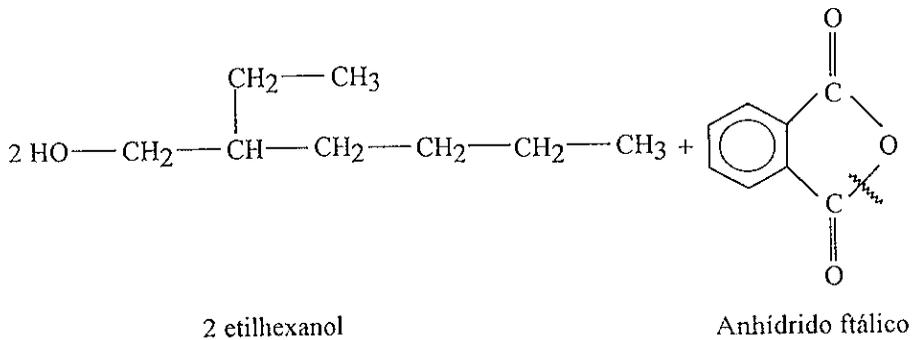
Los parámetros más importantes en la epoxidación son: el índice de yodo (I.I) que da la proporción de dobles ligaduras que hay en una muestra, el índice de oxirano (I.O.), que es la proporción de grupos oxiranos en la muestra y la acidez, la cual es equivalente a la cantidad de grupos funcionales ácidos presentes en una muestra.

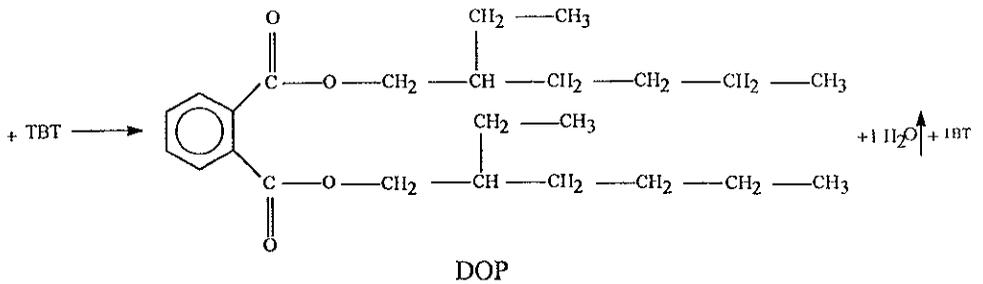
El aceite epoxidado de soya se utiliza como un plastificante secundario contribuyendo con su efecto reblandecedor al plastificante primario; pero también tiene una importante función como estabilizante. El poli(cloruro de vinilo), PCV genera HCl por descomposición lenta, causada por la acción de la luz y el calor; el grupo oxirano del aceite epoxidado absorbe el HCl, dando estabilidad al PCV.



2.2.2 Producción de ftalato de dioctilo (DOP)⁽⁸⁾

Se adiciona 2 etilhexanol al anhídrido ftálico a 60°C para, posteriormente incrementar su temperatura hasta 160°C y adicionar el catalizador de titanato de terbutilo (TBT) para iniciar la reacción de esterificación.

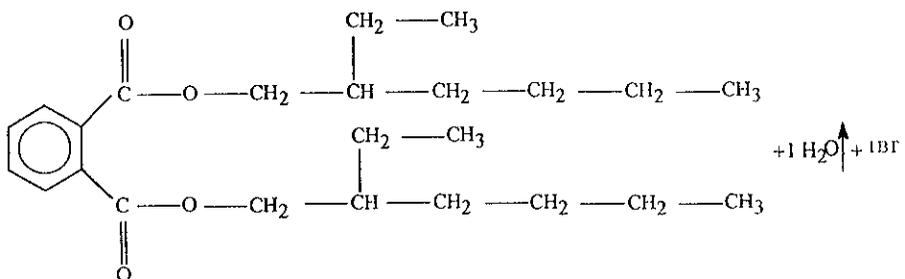




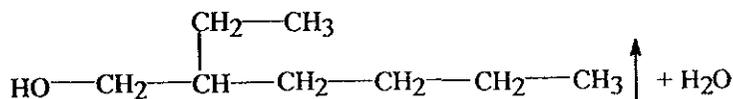
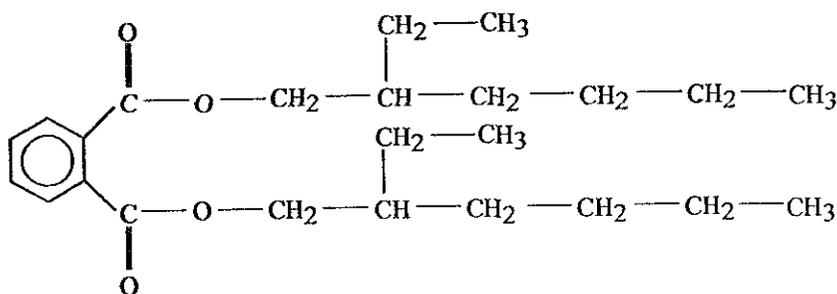
La reacción comienza con la apertura del anillo ftálico dando entrada a una mol de 2 etilhexanol para formar un monoéster y un grupo carboxílico.

El grupo carboxílico reacciona con el TBT y el 2-etilhexanol formando un complejo activado, de donde se forma finalmente el diéster de 2-etilhexanol llamado ftalato de dioctilo (DOP).

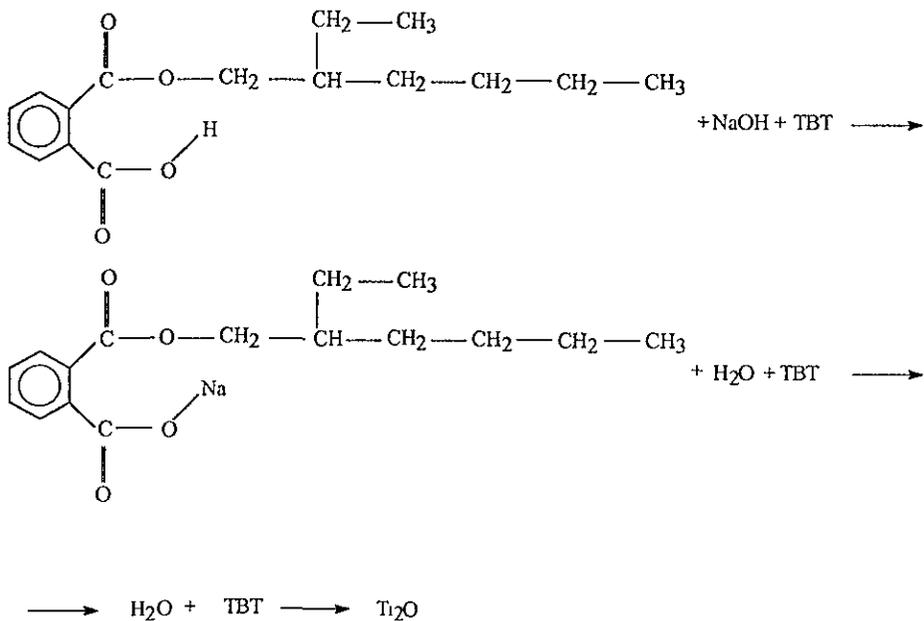
Por cada mol de plastificante formado se desprende una mol de agua, la cual indica el avance de la reacción.



La reacción se da por terminada cuando ya no se destila agua de reacción y el 2-etilhexanol que no reaccionó se extrae incrementando la temperatura a 220°C y haciendo vacío para obtener el plastificante.

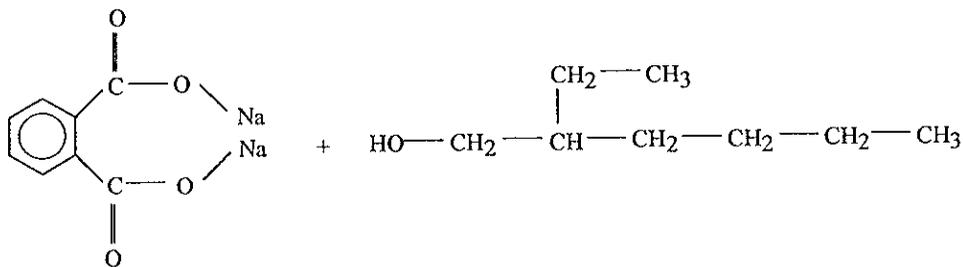
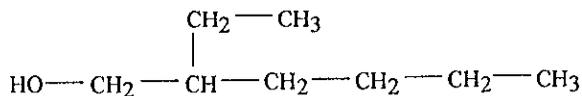
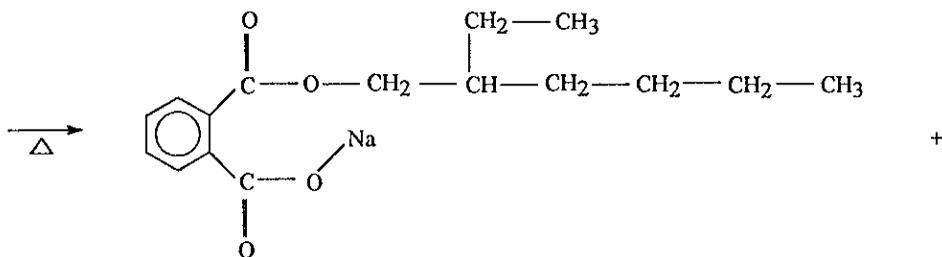
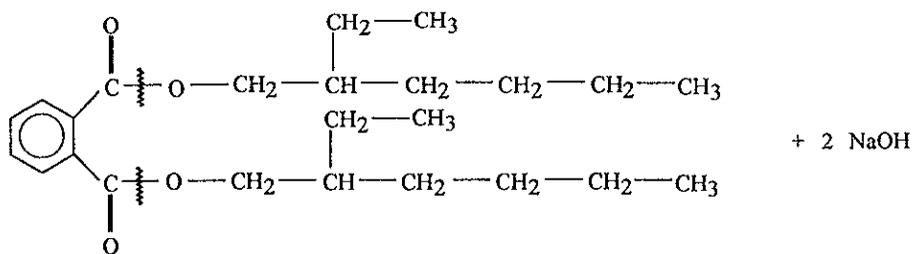


Este producto se enfría a 135°C y si el color no cumple la especificación, se adiciona peróxido de hidrógeno para corregirlo y cuando el color cumple con las especificaciones se enfría a 85°C para neutralizar el grupo carboxílico del monoéster que no reaccionó y descomponer el catalizador.



Después de neutralizar, se adiciona el agua de lavado para eliminar las impurezas que contiene el producto.

El producto debe ser neutro y en caso de ser alcalino (presencia de sosa) debe neutralizarse con ácido fórmico, ya que de no hacerlo, la función alcalina descompone el producto formado, liberando 2-etilhexanol y formando jabones.



Finalmente, el producto libre de sosa se calienta hasta 120°C a vacío para deshidratarse, enfriándose, posteriormente, a 100°C para ser filtrado.

2.3 PRETRATAMIENTOS Y TRATAMIENTOS PRIMARIOS

Los factores que se consideran para la elección de uno o varios tratamientos de aguas residuales son los siguientes^(2, 3, 9).

1. Características del agua residual: tipo de contaminante (material suspendido, coloidal o disuelto), biodegradabilidad, pH, productos tóxicos

2. Calidad del efluente de salida requerido

3. Costo y disponibilidad de terrenos. Un tratamiento o la combinación de ellos puede producir el efluente deseado, pero solo una de estas alternativas es la más económica en el caso de que se disponga de terrenos de bajo costo

4. Consideración de futuras ampliaciones o la previsión de límites de calidad de vertimiento más estrictos, que puedan necesitar el diseño de tratamientos más costosos y complicados en el futuro

5. Costo local del agua, pues existen algunos tratamientos los cuales serían justificados en donde el costo del agua es elevado

2.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS TRATAMIENTOS PRIMARIOS

Los tratamientos primarios se utilizan para la eliminación de sólidos en suspensión y materiales flotantes. Si después de éste, el efluente cumple con la normatividad regional existente, puede integrarse al medio receptor, pero si no, este tratamiento primario debe preparar el efluente para un tratamiento secundario que lleve el agua a cumplir con dicha normatividad^(2, 3, 9).

El tratamiento primario está constituido por:

Cribado o desbrozo

Sedimentación

Flotación

Separación de aceites

Neutralización

Homogeneización

Cribado^(2,9)

El cribado o desbrozo, es utilizado para reducir la cantidad de sólidos en suspensión de diferentes tamaños. Las aberturas de las rejillas dependen del objetivo de las mismas, y su limpieza se puede hacer manual o mecánicamente. Las materias sólidas recogidas se clasifican en finos y gruesos.

Las rejillas de finos tienen aberturas de 5 mm o menos. Generalmente están fabricadas de malla metálica de acero o con base en chapas de acero perforado y se utilizan en algunas ocasiones en lugar de tanques de sedimentación. Con esto se elimina entre un 5 y un 25% de sólidos en suspensión..

Las rejillas o cribas de gruesos tienen aberturas que pueden oscilar entre los 4 y 8 o 9 cm. Estos se utilizan como elementos de protección para evitar que sólidos de grandes dimensiones dañen las bombas y otros equipos mecánicos.

En ocasiones, se utilizan trituradoras en lugar de rejillas de gruesos. Estos elementos rompen o desgarran los sólidos en suspensión, que se eliminan por sedimentación.

Sedimentación^(2, 9)

La sedimentación se utiliza para separar los sólidos suspendidos de las aguas residuales.

La eliminación de los materiales por sedimentación, se basa en la diferencia de peso específico entre las partículas sólidas y el líquido donde se encuentran, que permite el depósito de las materias en suspensión.

La sedimentación se puede producir en una o varias etapas de los puntos del proceso de tratamiento.

Este proceso se puede dividir en tres clasificaciones básicas, dependiendo de la naturaleza de los sólidos presentes en la suspensión: natural, con floculación y por zonas.

a) Sedimentación natural. Las partículas que se depositan mantienen su individualidad, es decir, no se someten a un proceso de coalescencia con otras partículas y no cambian en tamaño, forma, o densidad durante el proceso de sedimentación. Un ejemplo de este tipo de sedimentación es la deposición de partículas de arena en los desarenadores.

Este tipo de sedimentación se basa en la suposición de que las partículas son esféricas con diámetros uniformes. Cuando una partícula está en proceso de sedimentación, va acelerándose hasta que las fuerzas que provocan la sedimentación, en particular el peso efectivo de la partícula, se equilibran con las resistencias o fuerzas de fricción ofrecidas en el líquido. Cuando se encuentra este equilibrio, la partícula alcanza una velocidad de sedimentación constante, denominada velocidad final de sedimentación de la partícula.

b) Sedimentación con floculación. Esta sedimentación ocurre cuando las partículas se aglomeran acompañadas de cambios en la densidad y en la velocidad de sedimentación o precipitación. Un ejemplo de este tipo de sedimentación es la que se lleva a cabo en los clarificadores o sedimentadores primarios.

c) Sedimentación por zonas. Las partículas forman una especie de lecho que se sedimenta como una masa total, presentando una interfase distinta con la fase líquida. Un ejemplo de este tipo de sedimentación es la sedimentación de lodos activados en los clarificadores secundarios.

Cada zona se caracteriza por tener una concentración específica de lodos y por una velocidad de sedimentación determinada.

Flotación⁽⁹⁾

La flotación se utiliza con los siguientes propósitos:

a) Separación de grasas, aceites, fibras y otros sólidos de baja densidad, de las aguas residuales

b) Espesado de lodos procedentes de los procesos de lodos activados

c) Espesamiento de los lodos floculados químicamente resultantes de los tratamientos de coagulación química

La flotación es un proceso para remover sólidos de baja densidad o partículas líquidas de una fase líquida. La separación se lleva a cabo introduciendo un gas (generalmente aire) en la fase líquida, en forma de burbujas. La fase líquida se somete a una presurización para alcanzar una presión entre 2 y 4 atmósferas, en presencia de suficiente aire para conseguir la saturación del aire en el agua. Posteriormente el líquido saturado de aire baja su presión hasta la presión atmosférica al pasar a través de una válvula reductora de presión. Con esto se forman burbujas de aire que se desprenden de la solución.

Los sólidos en suspensión o las partículas líquidas de menor densidad flotan debido a que las burbujas asociadas a las mismas, les obligan a elevarse hacia la superficie. Los sólidos en suspensión pueden separarse de la superficie por sistemas mecánicos.

Componentes básicos de un sistema de flotación⁽⁹⁾

Los componentes básicos de un sistema de flotación son: una bomba para aumentar la presión; un sistema de inyección de aire; un tanque de retención, para conseguir el contacto aire-líquido; válvula reductora de presión y un tanque de flotación.

Los resultados de la flotación pueden ser mejorados por la adición de agentes coagulantes.

Neutralización^(1, 2, 9)

En muchas ocasiones, es necesario efectuar una neutralización de efluentes industriales que contienen materiales ácidos o alcalinos.

El tratamiento de neutralización se utiliza en los siguientes casos:

1. Antes de descargar las aguas a cuerpos receptores, puesto que la vida acuática es muy sensible a las variaciones de pH fuera de un intervalo cercano a $\text{pH}=7$.

2. Antes de descargar las aguas residuales al alcantarillado municipal, puesto que es más económica la neutralización de aguas residuales industriales antes de descargarlas en el alcantarillado municipal, que hacer una neutralización de volúmenes mayores de aguas residuales combinadas con aguas domésticas.

Cuando se van a efectuar tratamientos químicos o biológicos se debe adecuar el pH requerido por dicho tratamiento. Por ejemplo, para los tratamientos biológicos, el pH del sistema se mantiene en un intervalo comprendido entre 6.5 y 8.5 para asegurar una actividad biológica óptima. El proceso biológico en sí mismo puede conseguir una neutralización y en cualquier caso tiene una capacidad amortiguadora como resultado de la producción de CO_2 , que da lugar a la formación de carbonatos y bicarbonatos en la solución.

Efectos amortiguadores en las aguas residuales⁽⁹⁾

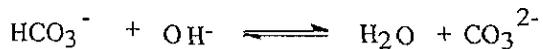
Las soluciones amortiguadoras son las formadas por compuestos en equilibrio químico, de tal forma que ante pequeñas adiciones de ácido o base no sufren

variaciones en la concentración de H^+ u OH^- . Muchas aguas residuales contienen iones bicarbonato en solución, resultantes de la disolución de dióxido de carbono en el agua. Los iones bicarbonato reaccionan bien con el ácido o con la base, de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

Con un ácido:



Con una base:



Los métodos para neutralizar las aguas residuales son:

1. Homogeneización, la cual consiste en mezclar corrientes ácidas y otras alcalinas disponibles en la planta.

2. Métodos de control directo de pH, que consisten en la adición de ácidos o bases para neutralizar las corrientes alcalinas o ácidas.

Los métodos de neutralización de aguas residuales ácidas más comúnmente empleados son: 1) Lechos de caliza; 2) Neutralización con cal; 3) Neutralización con sosa cáustica (NaOH); 4) Neutralización con carbonato de sodio; y 5) Neutralización con amoníaco.

La neutralización con cal es el método más común. Se pueden tener lechos de caliza con flujo ascendente o descendente. Para aguas residuales que contienen H_2SO_4 los lechos de caliza no deben utilizarse si la concentración de H_2SO_4 supera el 0.6%, debido a que la caliza se cubre con una capa insoluble de $CaSO_4$, haciéndola inefectiva. Además, la generación de CO_2 puede causar problemas.

Los métodos de neutralización de aguas residuales alcalinas, se basan en la utilización de cualquier ácido fuerte. Comúnmente se utiliza H_2SO_4 (el más económico) y HCl .

En ocasiones se utilizan gases residuales que contengan 14% de CO_2 para la neutralización de aguas residuales alcalinas. Cuando se realiza un burbujeo a través de las aguas residuales, el CO_2 forma ácido carbónico, que reacciona con la base. La reacción es lenta pero suficiente.

Homogeneización^(2, 9)

La homogeneización es la mezcla de las corrientes de aguas residuales, ácidas y alcalinas en un tanque de homogeneización.

Los propósitos de utilizar tanques de homogeneización son los siguientes:

a) Neutralización

b) Disminuir las variaciones en las corrientes de aguas residuales con un caudal constante que sea el que llegue a la planta de tratamiento

c) Disminuir las variaciones de material biodegradable soluble en el efluente a los sistemas de tratamiento

Estanques de homogeneización de nivel constante. Este es un método de neutralización en el cual, el nivel de depósito de homogeneización es constante, es decir, si varía el caudal de entrada, el caudal de salida también varía.

Depósitos de homogeneización de nivel variable. Éste es un método de neutralización, donde el efluente sale con un caudal constante. El caudal de entrada varía con el tiempo; por tanto, el nivel del estanque debe hacerse variable

En ocasiones, para mantener relativamente constante la cantidad de material biodegradable soluble en el caudal de entrada, se utiliza un método que consiste en sacar el exceso de la corriente de entrada (caudal de alimentación) a un depósito de

retención, del cual se regresa al estanque de homogeneización cuando haya un déficit de la corriente de entrada.

2.3.2 COAGULACIÓN Y PRECIPITACIÓN^(2,9)

La coagulación se utiliza para remover los materiales suspendidos o en formas coloidales. Los tamaños de los coloides varían entre un intervalo de 1.0 nm (10^{-7} cm) a 0.1 nm (10^{-8} cm). Estas partículas no sedimentan y no pueden ser removidas por tratamientos físicos convencionales.

Los coloides presentes en el agua residual pueden ser hidrofóbicos o hidrofílicos. Los coloides hidrofóbicos no poseen afinidad con el medio líquido y tienen poca estabilidad en presencia de electrólitos. Son susceptibles a coagulación. Los coloides hidrofílicos, tienen una gran afinidad con el agua. El agua absorbida retarda la floculación y frecuentemente requiere tratamientos especiales para llevar a cabo una buena coagulación.

A continuación se muestra en la tabla 1 los principales agentes coagulantes químicos.

TABLA 1**Agentes coagulantes químicos⁽²⁾**

Nombre	Intervalo de pH
Cal	9.0-11.0
Aluminio	4.5-7.0
FeCl ₃ , FeCl ₂	4.0-7.0
FeSO ₄ .7 H ₂ O	4.0-7.0
Polímeros catiónicos	Sin cambio
Polímeros aniónicos y algunos no iónicos	Sin cambio

2.3.3 REMOCIÓN DE METALES PESADOS⁽²⁾

La precipitación se utiliza en la remoción de metales pesados de las aguas residuales. Los metales pesados son generalmente precipitados como hidróxidos por la adición de cal o agentes cáusticos en un intervalo de pH de solubilidad mínima. Sin embargo, algunos de estos compuestos son anfotéricos y tienen un punto de solubilidad mínimo. El pH de mínima solubilidad varía con el metal en cuestión.

La solubilidad para el cromo y el zinc son mínimas a pH 7.5 y 10.2, respectivamente.

Cuando se van a tratar aguas residuales que contienen metales, es necesario hacer un pretratamiento para remover las sustancias que pudieran interferir con la precipitación de los metales.

2.4. TRATAMIENTOS SECUNDARIOS⁽⁹⁾

El tratamiento secundario comprende tratamientos biológicos convencionales.

El tratamiento secundario está constituido por:

- Lodos activados

 - Aireación prolongada (procesos de oxidación total)

 - Estabilización por contacto

 - Modificaciones al sistema de lodos activados

 - Aireación escalonada

 - Lodos activados por mezcla completa

 - Aireación descendente

 - Lodos activados de alta carga

 - Aireación con oxígeno puro

- Lagunaje con aireación

- Estabilización por lagunaje

Filtros biológicos

Discos biológicos

Tratamientos anaerobios

Lodos activados⁽⁹⁾

Cualquier agua residual puede ser sometida a aireación durante un período de tiempo para reducir la cantidad de materia orgánica, formándose un lodo floculento.

Este lodo está formado por microorganismos heterogéneos; estos microorganismos pueden ser bacterias unicelulares, hongos, algas, protozoos, rotíferos, etc.

CONSIDERACIONES

- Para la degradación aerobia biológica de las aguas residuales es necesario contar con los siguientes nutrimentos: nitrógeno, fósforo, calcio, magnesio y vitaminas. Estos nutrimentos solo se requieren en pequeñas cantidades, ya que se encuentran presentes en las aguas residuales. En ocasiones, las cantidades requeridas de nitrógeno y fósforo no son las adecuadas, por lo que será necesario añadir compuestos que los contengan.

- La actividad óptima de las bacterias se presenta a valores de pH comprendidos entre 6 y 8 por tanto, es necesario conocer si el agua va a requerir una neutralización previa al tratamiento biológico.

Aireación prolongada (proceso de oxidación total)⁽⁹⁾

Este proceso, tiene el objetivo de disminuir la cantidad de lodo residual, esto mediante un aumento del tiempo de residencia comparado con el proceso de lodos activados.

CARACTERÍSTICAS

- Mayor tiempo de residencia en el reactor.
- Cargas orgánicas menores.
- Mayor consumo de oxígeno.
- Condiciones de inanición en los microorganismos, pues se tiene menor sustrato para una mayor cantidad de microorganismos.

Estabilización por contacto⁽⁹⁾

El agua residual que entra al tanque de contacto inicial se mezcla con lodo estabilizado sometiéndose a aireación. Durante este proceso se reduce una gran cantidad de material biodegradable disuelto, medido como DBO (ver anexo 1) mediante bio-absorción al estar en contacto con el lodo activado suficientemente aireado. El efluente de la salida procedente del tanque de contacto inicial fluye a un clarificador en donde se separa el efluente clarificado de los lodos producidos los cuales son llevados a un tanque de estabilización para ser aireados y posteriormente inyectados nuevamente al tanque inicial de contacto.

En este proceso, se puede alcanzar una reducción de DBO del 85 al 90%

MODIFICACIONES DEL PROCESO CONVENCIONAL DE LODOS ACTIVADOS

Aireación escalonada⁽⁹⁾

Este proceso es una variación del sistema convencional de lodos activados en el cual la alimentación fresca se hace en diversos puntos a lo largo del tanque de aireación.

Lodos activados con mezcla completa⁽⁹⁾

En este proceso, la alimentación fresca y el lodo se recombinan y se introducen en diferentes partes del tanque de aireación.

Aireación descendente⁽⁹⁾

El objetivo de este proceso es regular la cantidad de aire suministrado con la demanda de oxígeno a lo largo del tanque de aireación.

Aireación con oxígeno puro⁽⁹⁾

CARACTERÍSTICAS

- Producción de lodos en menor cantidad; por tanto, el volumen del tanque de aireación es menor.
- Menor requerimiento de nutrientes como son nitrógeno y fósforo.
- El lodo tiene características de sedimentación mejores que aquellas de los reactores aireados convencionales.
- El pH disminuye por la acumulación de dióxido de carbono en el agua residual, provocando que no se lleve a cabo la nitrificación.

Lagunas aireadas⁽⁹⁾

Son fosas de 1 a 4 metros de profundidad en donde se lleva a cabo la oxigenación del agua residual con unidades de aireación, las cuales pueden ser superficiales, turbinas o difusores. En este proceso, no se tiene recirculado de lodos y la concentración de sólidos es función de las características del agua residual y del tiempo de residencia.

Las lagunas aireadas se clasifican en lagunas de mezcla completa y lagunas facultativas, esto debido al nivel de turbulencia de cada una de ellas.

Lagunas de mezcla completa:

El nivel de turbulencia es suficiente para mantener los sólidos en suspensión y para proporcionar oxígeno disuelto en todo el volumen del líquido. Los tiempos de residencia son normalmente menores de tres días.

Lagunas facultativas:

El nivel de turbulencia es insuficiente para mantener todos los sólidos en suspensión, contándose exclusivamente con el necesario para suministrar oxígeno

disuelto en todo el volumen del líquido. Parte de los sólidos se decantan en el fondo de la laguna donde sufren descomposición anaerobia. Los tiempos de residencia superan normalmente los seis días.

Balsas de estabilización de aguas residuales⁽⁹⁾

En las balsas de estabilización no se utiliza equipo de aireación, el oxígeno necesario se obtiene de la superficie natural de aireación y de algas que producen oxígeno por fotosíntesis. El oxígeno liberado por las algas por fotosíntesis se utiliza para la degradación aerobia de la materia orgánica. Los productos de esta degradación son utilizados nuevamente por las algas.

Las balsas de estabilización son factibles cuando se dispone de grandes superficies de terreno de bajo costo y cuando la calidad del efluente requerida, no es muy estricta.

Filtros percoladores⁽⁹⁾

Es un tipo de reactor que utiliza un soporte de crecimiento biológico que se mantiene fijo en él.

El filtro percolador es un relleno cubierto de limo biológico a través del cual se percolará el agua residual. Normalmente el agua residual se distribuye en forma de pulverización uniforme sobre el lecho del relleno o empaque mediante un distribuidor rotativo del flujo. El agua residual se deberá percolar en forma descendente a través del relleno y el efluente se recoge en el fondo.

La capa de limo que se forma junto al empaque está formado de una subcapa aerobia y de otra anaerobia.

El espesor de la subcapa aerobia es función del caudal de agua residual aplicado y de su DBO. Si la DBO es muy grande, el espesor de la subcapa aerobia será menor, puesto que se presenta un consumo de oxígeno muy rápido.

En los filtros percoladores la materia orgánica y coloidal se separan por oxidación aerobia, coagulación y descomposición anaerobia.

CARACTERÍSTICAS

- No necesita energía para la aireación.
- Operación sencilla.
- Respuesta lenta y adaptación más rápida de los cambios bruscos de DBO.

- Poco sensibles a la presencia de sustancias tóxicas.

Biodiscos⁽⁹⁾

Los biodiscos son sistemas de tratamiento biológico aerobio de las aguas residuales. La biomasa se presenta en forma de crecimiento en suspensión.

Son una serie de discos no muy separados, fabricados de poliestireno o polietileno de diámetros variables. Estos discos se mantienen paralelos entre sí y unidos a un eje horizontal que pasa a través de sus centros.

La superficie de los discos está aproximadamente un 40% sumergidas en todo momento. Los ejes giran a una velocidad entre 1 y 2 rpm y se forma gradualmente un limo biológico de 1 a 3 mm de espesor que comienza a depositarse en las superficies de los discos.

CARACTERÍSTICAS

- Bajo consumo de energía.
- Mantenimiento sencillo.

- Se puede lograr mayor nitrificación desarrollando cultivos de bacterias nitrificantes selectivas en las últimas etapas.
- La biomasa tiene una buena sedimentación.
- No es necesario un reciclaje de biomasa.
- Se forma una película líquida sobre la zona húmeda de los discos expuesta al aire ambiente, por lo que se puede congelar en climas fríos.

Tratamientos anaeróbios⁽⁹⁾

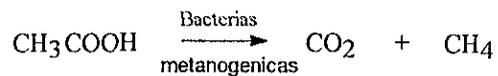
El tratamiento anaerobio es utilizado tanto para las aguas residuales como para la digestión de los lodos. Los productos finales de la degradación anaerobia son gases, tales como metano, dióxido de carbono, pequeñas cantidades de sulfuro de hidrógeno, mercaptanos e hidrógeno.

El proceso tiene dos etapas, la fermentación ácida y la fermentación metanogénica.

Fermentación ácida. En la fermentación ácida los compuestos orgánicos complejos del agua residual, tales como proteínas, grasas e hidratos de carbono, se hidrolizan para producir unidades moleculares menores, para ser sometidas a biooxidación y convertirse en ácidos orgánicos de cadenas cortas como acético,

propiónico y butírico. Las bacterias facultativas y anaerobias son las responsables de estas hidrólisis y oxidaciones. En esta etapa no se reduce la DQO (ver anexo I), puesto que la conversión de moléculas orgánicas a ácidos orgánicos también tienen una demanda química de oxígeno.

Fermentación metanogénica. Los microorganismos anaerobios convierten los ácidos de cadenas más largas a metano, dióxido de carbono y ácidos orgánicos de cadenas más cortas. Las moléculas ácidas se rompen dando lugar a ácido acético que se convierte en dióxido de carbono y metano.



Las bacterias facultativas y anaerobias de la etapa de fermentación ácida tienen una velocidad de crecimiento más elevada que las bacterias metanogénicas de la etapa de fermentación metanogénica; por tanto la etapa de fermentación ácida es más rápida, por lo que la etapa de fermentación metanogénica es la que controla la velocidad en los procesos anaerobios.

El tiempo de residencia para los microorganismos metanogénicos debe ser adecuado o si no son eliminados del sistema.

CARACTERÍSTICAS

- Ahorro de consumo energético en el tratamiento anaerobio.
- La cantidad de biomasa producida es menor, por tanto se tienen grandes ahorros en los procesos de manejo y evacuación del exceso de lodo.
- Menor requisito de nutrientes (nitrógeno y fósforo).
- En los procesos anaerobios es posible manejar cargas orgánicas superiores que en los procesos aerobios.
- Se producen cantidades considerables de metano en los procesos anaerobios, lo cual es una ventaja puesto que se puede utilizar como combustible.
- Se necesitan tiempos mayores de residencia con respecto a los tratamientos aerobios.
- Se tienen malos olores debido a la producción de mercaptanos y ácido sulfhídrico.
- Se necesitan mayores temperaturas para asegurar que los procesos anaerobios se lleven a cabo a una velocidad razonable.
- La operación de las unidades anaerobias es más difícil que las aerobias.

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA Y ESTRATEGIA PARA LA SOLUCIÓN DE LA PROBLEMÁTICA

3.1 SITUACIÓN ACTUAL DE DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES EN LA INDUSTRIA DE RESINAS Y PLASTIFICANTES

La gran demanda de plastificantes primarios así como la comercialización de aceites epoxidados tanto en el mercado nacional como en el internacional⁽¹⁰⁾ ha hecho que las empresas productoras de estos, se preocupen porque sus efluentes acuosos cumplan con los límites establecidos por las Normas Oficiales Mexicanas de aguas residuales para su descarga, tanto a cuerpos receptores como a drenajes municipales.

Los principales contaminantes de las aguas residuales de la industria de resinas y plastificantes para el que se realizó el presente estudio son: aceite de soya, peróxido de hidrógeno, tereftalato de dimetilo, 2-etil hexanol, hidróxido de sodio,

anhídrido ftálico, ácido adípico, monoetilén glicol, monopropilén glicol; los cuales se encuentran en diferentes proporciones.

3.1.1 DESCRIPCIÓN DE LAS CORRIENTES ACUOSAS ACTUALES

Los efluentes acuosos provenientes de las descargas de los reactores se llevan a la fosa 1. A esta fosa también llegan todos efluentes acuosos de la planta, así como el agua que se utiliza para lavar la misma, una vez mezcladas estas corrientes, se procede a darles un tratamiento primario como se describe a continuación (Ver diagrama 1):

El agua de la fosa 1 es bombeada a un separador de grasas en donde se separa la grasa para después ser recuperada (fuera de planta por una compañía externa) , mientras que el agua libre de grasas es llevada a un tanque de neutralización, en donde debido al carácter básico del agua, se le agrega ácido sulfúrico, para llevarla a un pH cercano a 7.

Con la ayuda de una bomba, el efluente acuoso proveniente de la neutralización, es descargada a un tanque de coagulación en el cual mediante un

dosificador se agrega el coagulante catiónico EQI-207, formando flóculos estables que son drenados con facilidad.

El agua proveniente de la coagulación es llevada a un clarificador, en donde se agrega un polielectrólito aniónico EQI-105 mediante un dosificador especial, cuyo objetivo es flocular materiales en suspensión, formando flóculos grandes y estables. De este proceso, se obtiene una gran cantidad de lodos, los cuales se envasan en tambores para ser llevados junto a otros desechos de la planta con el fin de ser tratados por otros procesos (fuera de planta por una compañía externa).

El agua resultante de este clarificador es llevada a la fosa 2.

A pesar de que al agua se le da este tratamiento primario, no cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL/1996 la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales, así como tampoco cumple con la Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993 que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Es debido a esto que las empresas de resinas y plastificantes, están buscando otras alternativas, para lograr que sus efluentes cumplan con la normatividad mexicana referente a las descargas de aguas residuales.

En la actualidad se están llevando a cabo investigaciones acerca de los diferentes tratamientos biológicos existentes, para verificar que cumplan con las características necesarias y utilizarlos en los procesos actuales.

3.2 ACTIVIDADES DESARROLLADAS

3.2.1 Muestreo de aguas residuales

El muestreo de las aguas residuales se llevó a cabo conforme a la Norma Oficial Mexicana NOM-AA-03/1980⁽¹⁶⁾, la cual establece los lineamientos generales y recomendaciones para muestrear las descargas de aguas residuales, con el fin de determinar las características físicas y químicas de los mismos.

Los recipientes utilizados para las muestras fueron de polietileno con una capacidad de cuatro litros y tapas que proporcionaban cierre hermético.

De acuerdo a las consideraciones anteriores, el procedimiento de muestreo fue de la siguiente forma:

- El recipiente de polietileno era enjuagado tres veces con el agua por muestrear, antes de tomar la primera muestra simple.
- Se introducía el recipiente muestreador en la descarga de agua residual y se tomaba una muestra simple, la cual era proporcional al gasto de descarga en el momento del muestreo. Así se tomaban 3 muestras simples para formar una muestra compuesta.
- Al término del muestreo, cada muestra compuesta era identificada con la siguiente información:

Identificación de la descarga

Número de lote de cada descarga

Fecha y hora de muestreo

Persona que realizó el muestreo

- En el caso de que no todas las muestras pudieran ser caracterizadas el mismo día de la toma de muestra, éstas se mantenían en refrigeración por un tiempo máximo

de 3 días, pero en el caso de la determinación de DBO, las muestras eran transportadas en un baño de hielo al Departamento de Control Analítico de la Facultad de Química inmediatamente después de tomar la muestra.

A pesar de que se intentó que el muestreo siempre fuera realizado por una misma persona, esto no fue posible, puesto que la duración de cada reacción era variable y no se sabía con exactitud la hora en que se podía tomar la primera muestra, por lo que se decidió darles instrucciones a los supervisores de la planta para que fueran ellos los que realizaran los diferentes muestreos.

3.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ACUOSOS

Los parámetros que se determinaron para realizar este estudio, fueron los siguientes:

Sólidos sedimentables	NMX-AA-004/1977
Grasas y aceites	NMX-AA-005/1980
Materia flotante	NMX-AA-006/1973
Temperatura	NMX-AA-007/1980
pH	NMX-AA-008/1980
Nitrógeno total	NMX-AA-026/1980

Demanda bioquímica de oxígeno	NMX-AA-028/1981
Fósforo total	NMX-AA-029/1981
Demanda química de oxígeno	Micrométodo
Sólidos suspendidos totales	NMX-AA-034/1981
Fenoles	NMX-AA-050/1981
Fluoruros	NMX-AA-077

Para metales pesados y cianuros:

Arsénico	NMX-AA-046/1982
Cromo total	NMX-AA-051/1982
Níquel	NMX-AA-051/1982
Plomo	NMX-AA-057/1981
Cianuro	NMX-AA-058/1982
Cadmio	NMX-AA-060/1982
Mercurio	NMX-AA-064/1982
Cobre	NMX-AA-066/1981
Zinc	NMX-AA-078/1982

3.3.1 DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS UTILIZADOS

Sólidos sedimentables⁽¹⁷⁾

Este método se basa en la propiedad que tienen los materiales sólidos, de asentarse en niveles progresivos de acuerdo a sus diferentes densidades.

La determinación volumétrica se hace mediante un cono de sedimentación tipo Imhoff, en el cual se deja reposar la muestra de agua durante 45 minutos, para después agitar suavemente y esperar a que ocurra la sedimentación. La lectura se hace directamente en el cono Imhoff.

Grasas y aceites⁽¹⁸⁾

El método consiste en la acidificación de una muestra para extraer las grasas y aceites en solución, las grasas son separadas por filtración y extraídas con un solvente con ayuda del aparato “soxhlet”, para después evaporar el solvente y cuantificar graviméticamente el material extraído.

La muestra deberá ser representativa, puesto que las características de las grasas y aceites es agruparse en las superficies de los cuerpos receptores, formando natas en zonas específicas.

En caso de que no se pueda hacer inmediatamente la caracterización, la muestra deberá mantenerse a pH ácido y en refrigeración.

Materia flotante⁽¹⁹⁾

En esta determinación, la materia flotante es aquella que flota libremente en la superficie del líquido y que queda detenida en una malla de alambre entretejida con aberturas de 3 mm.

Temperatura⁽²⁰⁾

La temperatura es medida con un instrumento apropiado, calibrado y se debe medir en el lugar donde se realizó el muestreo.

Los termómetros utilizados, son termómetros industriales de vidrio de gran precisión.

pH⁽⁴⁴⁾

Al poner en contacto dos soluciones de diferente concentración de iones hidrógeno, se establece una fuerza electromotriz. Si una de las soluciones tiene una concentración de iones conocida (pH), por medio de la fuerza electromotriz producida, se puede conocer el valor de pH de la solución problema, puesto que esta fuerza electromotriz, es proporcional al valor de pH problema.

Para esta determinación se utilizó el pH-metro de la planta donde se realizó el estudio, y la calibración de éste esta a cargo de una persona del laboratorio de investigación del mismo lugar.

Demanda química de oxígeno^(2, 23)

La demanda química de oxígeno representa la cantidad de sustancias químicas fuertemente oxidantes requeridas para oxidar la fracción orgánica de una muestra susceptible de oxidación al dicromato o permanganato en medio ácido.

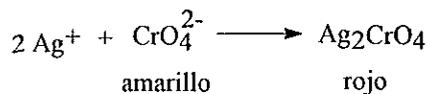
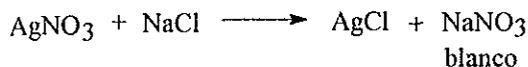
Si hay presencia de cloruros en la muestra, estos pueden ocasionar interferencias y dar un resultado erróneo, por lo que será necesario eliminarlos si se encuentran presentes.

El método se basa en el calentamiento de una muestra de agua residual con un exceso conocido de dicromato de potasio y ácido sulfúrico-sulfato de plata por 2 horas. La solución se deja enfriar, se diluye con agua destilada y se añade ferroína como indicador. Esta solución es valorada con sulfato ferroso amoniacal hasta obtener un color rojo-marrón.

En el anexo 1 se presenta la metodología para la determinación de la demanda química de oxígeno (DQO) y la demanda bioquímica de oxígeno (DBO).

Cloruros

El método de Mohr se basa en la titulación de los cloruros con una solución estándar de nitrato de plata valorada y se añade una sal soluble de cromato de potasio como indicador. Cuando la precipitación de los cloruros termina, el primer exceso de ión plata reacciona con el cromato de potasio, para formar un precipitado rojo de cromato de plata.



Sólidos suspendidos totales⁽²⁵⁾

Esta determinación se basa en la consideración que los sólidos suspendidos totales están constituidos por sólidos sedimentables, sólidos en suspensión y sólidos coloidales, cuyo tamaño de partícula no pasa por el filtro estándar de fibra de vidrio.

La muestra deberá ser homogeneizada y proporcional a la cantidad de sólidos en suspensión que se espere encontrar.

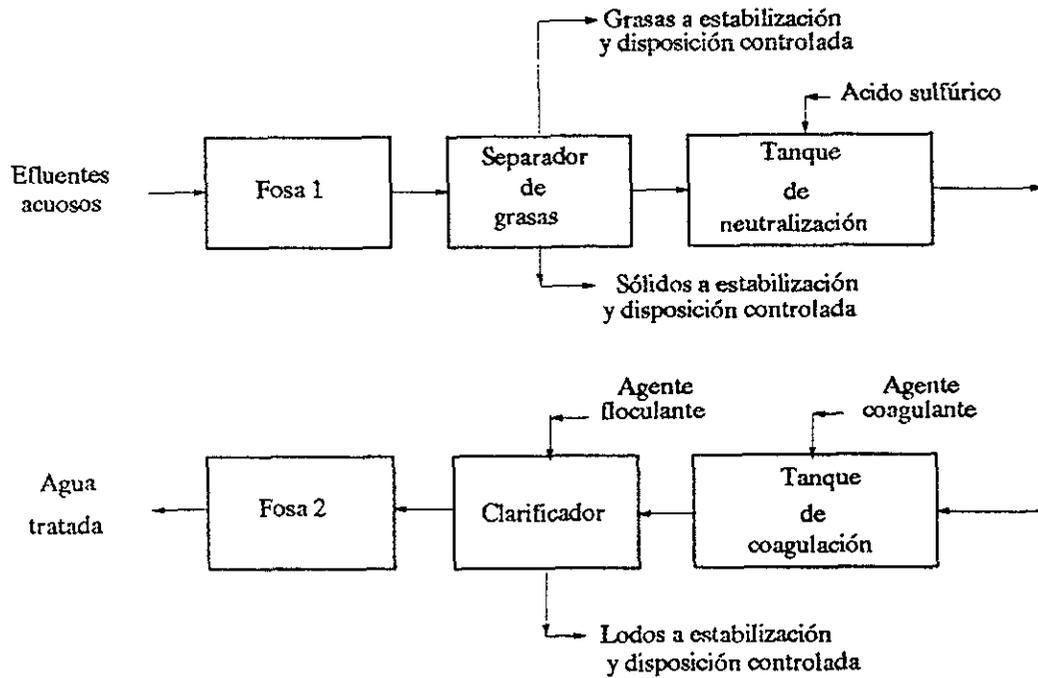
Otras determinaciones

Las determinaciones de nitrógeno total⁽²²⁾, fósforo total⁽²⁴⁾, fenoles⁽²⁷⁾, fluoruros⁽³⁴⁾, demanda bioquímica de oxígeno⁽²³⁾ (DBO) se hicieron en el Departamento de Control Analítico de la Facultad de Química, siguiendo las metodologías oficiales.

Las determinaciones de metales pesados y cianuros, también se realizaron en el Departamento de Control Analítico de la Facultad de Química.

Diagrama 1

Sistema de tratamiento actual de aguas residuales



CAPÍTULO 4

RESULTADOS

4.1 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ACUOSOS ANTES DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO ACTUAL

Las caracterizaciones que a continuación se muestran, se hicieron del 15 de marzo de 1996 al 15 de enero de 1997 (tablas 2 y 3).

TABLA 2

Caracterización del agua sin tratamiento proveniente de la fosa 1

Determinación	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	10	12	10	12	12
Grasas y aceites (mg/L)	596.4	553.6	125.	-	-
Materia flotante	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	3.6	0	0	0
DQO (mg/L)	40233	96818	19356.5	20563	10597.4
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	8530	8860	8640	10800	10420

Determinación	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	12	12	12	10	8
Grasas y aceites (mg/L)	-	-	-	-	-
Materia flotante	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	100
DQO (mg/L)	11409.4	15207	11409.4	11507	7480.3
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	11870	8660	11870	6480	4800

Determinación	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	12	12	10.6	11.2	4.8
Grasas y aceites (mg/L)	-	-	-	869.7	-
Materia flotante	Presente	Presente	Presente	Presente	Presente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	150	0	0	20
DQO (mg/L)	13991.04	41100.8	14786.24	22875	11000
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	7910	9700	9000	9600	7680

4.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ACUOSOS DESPUÉS DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO ACTUAL

La caracterización del efluente de la fosa 2 corresponde al agua que recibió el tratamiento primario que se da normalmente en la planta y fue realizada en fecha posterior al análisis de la fosa 1.

TABLA 3

Caracterización del agua después del sistema de tratamiento actual proveniente de la fosa 2

Determinación	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	4	7	8	8	9
Grasas y aceites (mg/L)	93.3	308.5	159.2	-	-
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0.9	0	0	30	0
DQO (mg/L)	36169	75398.4	16047.05	19353	8523.14
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	8770	6820	8170	9050	9300

Determinación	6	7	8	9	10
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	7.5	7	8	7.5	12.5
Grasas y aceites (mg/L)	-	-	-	-	-
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	10326.7	7229.12	15710.14	7779.84	5454.4
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (μS/cm)	10320	6840	9270	6440	4350

Determinación	11	12	13	14	15
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	8.5	8	6.3	5	9.8
Grasas y aceites (mg/L)	-	-	-	143.491	-
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	12158.8	42993.6	10097.92	21030.75	7800
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (μS/cm)	7840	8200	8750	8200	5870

Debido a que el tratamiento primario actual se consideró que no es suficiente, se decidió conveniente hacer los análisis por separado de los efluentes provenientes de los reactores a nivel de laboratorio, para ver si los parámetros de contaminación disminuían.

4.3 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ACUOSOS ANTES DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO

Esta caracterización fue desarrollada del 15 de enero de 1997 al 19 de mayo de 1997 (tablas 4, 5 y 6).

TABLA 4

Caracterización del agua de lavado de ftalato de dioctilo

Parámetros	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	19	17	19	20	20
pH	14	13.8	12.1	14	11.09
Grasas y aceites (mg/L)	112	38003	55995	1528	6716
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0.1	0	0.1	0
DQO (mg/L)	33100	178983	81039	27187	53793
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	19050	7520	9050	11950	11590
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	179	287	194	240	205

TABLA 5

Caracterización del agua de reacción de ftalato de dioctilo

Parámetros	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	18	18	18	19	20
pH	2.9	2.98	2.9	2.3	2.3
Grasas y aceites (mg/L)	512.7	364	50818	40580	68.6
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	6326	6828	170847	91428	11613
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	240	290	90	90	120
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	0	5	0	24	10

TABLA 6

Caracterización del agua de lavado de Pantopox

Parámetros	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	20	19	19	20	20
pH	5.8	5.7	5.4	6.2	6.93
Grasas y aceites (mg/L)	4381	4393	2440	408	353
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	16354	16623	66493	19687	20690
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	18500	15900	16500	15190	16800
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	410	540	1368	250	320

4.4 CARACTERIZACIÓN DE LOS EFLUENTES ACUOSOS DESPUÉS DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO

Se realizó el tratamiento primario a nivel laboratorio para los efluentes por separado (tablas 7, 8 y 9), las muestras no corresponden a las reportadas en las tablas 4, 5 y 6, que fueron caracterizadas en una fecha anterior.

TABLA 7

Caracterización del agua de lavado de ftalato de dioctilo

Parámetros	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	6.9	6.87	8.91	7.51	7.15
Grasas y aceites (mg/L)	1470	854	5789	1170	4543
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	4138	6537	22564	8205	35702
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	11540	10610	12250	8760	9650
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	53	30	3	0	199

TABLA 8

Caracterización del agua de reacción de ftalato de dioctilo

Parámetros	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	20	20	20	20	20
pH	7.37	7.43	7.87	7.43	7.58
Grasas y aceites (mg/L)	642	1190	1972	348	1520
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	7441	75372	77355	17851	76830
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	373	242	585	717	432
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	1	8	3	0	4

TABLA 9

Caracterización del agua de lavado de Pantopox

Parámetros	1	2	3	4	5
Temperatura (°C)	20	19	20	20	19
pH	7.62	6.4	6.99	7.34	7.47
Grasas y aceites (mg/L)	167	272	1610	631	283
Materia flotante	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente	Ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	0	0	0	0	0
DQO (mg/L)	22412	14483	1800	20000	17743
Cloruros (%)	0	0	0	0	0
Conductividad (µS/cm)	16380	9850	15460	14090	19220
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	55	19	28	214	38

4.5 DETERMINACIÓN DE METALES PESADOS Y CIANUROS DE LOS EFLUENTES ACUOSOS ANTES DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO

La determinación de metales pesados y cianuros fué realizada, debido a que es solicitada en la normatividad mexicana que aplica a este tipo de industrias, pero se sabe de antemano que los procesos de producción de plastificantes estudiados en este trabajo, no contiene dichos metales pesados ni cianuros (tabla 10).

TABLA 10

Metales pesados y cianuros antes del tratamiento primario propuesto

Determinación	Agua de lavado de DOP	Agua de reacción de DOP	Agua de lavado de Pantopox
Cadmio (mg/L)	0.1	ND	0.1
Cianuro (mg/L)	ND	ND	0.52
Cobre (mg/L)	0.4	ND	0.2
Cromo total (mg/L)	0.7	0.3	1.4
Níquel (mg/L)	0.2	ND	0.2
Plomo (mg/L)	0.6	0.1	0.5
Zinc (mg/L)	0.1	0.1	0.2

No se hizo la caracterización de metales pesados y cianuros para el agua de las fosas, debido a que no se consideró conveniente, pues ninguno de los procesos que se llevan a cabo en la planta en donde se realizó el estudio, manejan estos compuestos.

4.6 DETERMINACIÓN DE FENOLES Y FLUORUROS DE LOS EFLUENTES ACUOSOS ANTES DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO

A pesar de que no se usan ni se forman fenoles y fluoruros durante los procesos de esta planta, se consideró conveniente hacer la determinación de los mismos (tabla 11).

TABLA 11

Fenoles y fluoruros antes del tratamiento primario propuesto

Determinación	Agua de lavado de DOP	Agua de reacción de DOP	Agua de lavado de Pantopox
Fenoles (mg/L)	5.7	0.3 - 0.8	0 - 0.03
Fluoruros (mg/L)	1.37	0.69	1.73

4.7 DETERMINACIÓN DE DQO Y DBO DE LOS EFLUENTES ACUOSOS ANTES DE LA REALIZACIÓN DEL TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO

La determinación del DQO de los efluentes acuosos estudiados, fue realizada el mismo día en que se tomó la muestra del agua, mientras que para la determinación del DBO, y a solicitud del personal del Departamento de Control Analítico de la Facultad de Química (que fue donde se hicieron estas determinaciones) fueron colocadas en un baño de hielo para ser transportadas a ese departamento.

TABLA 12

DQO y DBO antes del tratamiento primario propuesto

Determinación	Agua de lavado de DOP	Agua de reacción de DOP	Agua de lavado de Pantopox
DQO (mg/L)	27187	11613	16354
DBO (mg/L)	14220	7110	7020

Los análisis para DBO después de la realización del tratamiento primario no se hicieron, debido a que los resultados de la DQO fueron elevados y, por tanto, era de esperarse que los resultados para DBO fueran también elevados como se encuentra reportado en la literatura^(2,9)

La diferencia entre la DBO y DQO indica la presencia de materiales no biodegradables presentes en el agua residual y por tanto será necesario llevar a cabo uno o más tratamientos adicionales para disminuir esta diferencia.

4.8 RESULTADOS CROMATOGRÁFICOS

Para estos resultados se utilizó un cromatógrafo de gases, en el cual fue inyectada una muestra de aquello que se iba a analizar.

4.8.1 Agua de reacción de DOP

Al tomar las muestras del agua de reacción de DOP, en ocasiones se observó una fase aceitosa en la superficie, la cual fue analizada por medio de un cromatógrafo de gases para conocer su composición química, la cual esta reportada en la tabla 13.

TABLA 13

Composición de la fase aceitosa del agua de reacción de DOP

Composición	%
DOP	60.84
2-etil hexanol	36.23
DOTP	0.57
Metanol	0.01904
Desconocidos	2.34

Los desconocidos presentes en esta muestra son aquellos cuyo cromatograma de I.R. no se pudo identificar tanto en la base de datos del cromatógrafo como buscando en los espectros de I.R. reportados en el Aldrich.

4.8.2 Agua de lavado de DOP

En las muestras del agua de lavado de DOP se encontraron en varias ocasiones sólidos sedimentables, los cuales fueron disueltos y analizados por medio del cromatógrafo de gases. Los resultados que se encontraron se presentan en la tabla 14.

TABLA 14

Composición de la fase sólida del agua de lavado de DOP

Composición	%
DOP	42.4
2-etil hexanol	2.3
Desconocidos	55.3

Los desconocidos reportados en esta muestra son aquellos cuyo cromatograma de I.R. no se pudo identificar tanto en la base de datos del cromatógrafo como buscando en los espectros de

4.9 ANÁLISIS DE RESULTADOS

Los resultados obtenidos en el laboratorio correspondientes a las caracterizaciones antes y después del tratamiento primario, no corresponden a la misma muestra, debido a que primero se hicieron los análisis antes de la realización del tratamiento primario para conocer los intervalos en que se encontraban los parámetros a analizar.

El tratamiento primario de las aguas de lavado de DOP, Pantopox y agua de reacción de DOP, fueron efectuados a nivel laboratorio.

El análisis de resultados después del tratamiento primario que aquí se presenta está basado en la comparación de los resultados obtenidos a nivel de laboratorio con los establecidos en la normatividad mexicana que aplica a este tipo de industrias.

- **Determinación de temperatura**

- a) Antes de la realización del tratamiento primario

La temperatura de los efluentes acuosos tanto de la fosa 1 como del agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado de Pantopox

permanecieron siempre dentro del intervalo de 20°C. En la gráfica 1, se pueden ver los resultados de las tablas 2, 4, 5, 6.

b) Después de la realización del tratamiento primario

Este parámetro como promedio diario cumple con la normatividad mexicana, puesto que la temperatura permanece a 20°C y las normas oficiales mexicanas NOM-CCA-031-ECOL/1993 y la NOM-001-ECOL-1996 exigen un máximo de 40°C. En la gráfica 2, se pueden ver los resultados de las tablas 3, 7, 8, 9 que confirman lo anterior.

• **Determinación de pH**

a) Antes de la realización del tratamiento primario

Para la fosa 1 el valor de pH permanece en la mayoría de las ocasiones arriba de 8, por lo que se puede decir que es alcalino principalmente (tabla 2).

El agua de lavado de DOP presentó un pH alcalino en todas las determinaciones efectuadas (tabla 4).

El agua de reacción de DOP tiene un pH ácido y siempre se mantuvo inferior a las 3 unidades de pH (tabla 5).

El agua de lavado de Pantopox tiene un pH ácido, pero no tanto como el agua de reacción de DOP. Esta corriente de agua, siempre se mantuvo arriba de las 5 unidades de pH (tabla 6).

Los resultados correspondientes a pH de las tablas 2, 4, 5, 6 se presentan en la gráfica 3.

b) Después de la realización del tratamiento primario

Al analizar el pH después del tratamiento primario en la fosa 2 (tabla 3), el pH permanece en un intervalo cercano a 7, por lo que cumple con lo establecido por la normatividad mexicana.

Para el agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado de Pantopox también se logró que después del tratamiento primario efectuado a nivel de laboratorio (tablas 7, 8, 9), el valor de pH permaneciera dentro de un intervalo cercano a 7, por lo que se cumple con los límites máximos permisibles por

las normas oficiales mexicanas. Los resultados reportados en las tablas 3, 7, 8, 9 se presentan en la gráfica 4.

- **Determinación de grasas y aceites**

- a) Antes de la realización del tratamiento primario

La cantidad de grasas y aceites determinadas en la muestra correspondiente a la fosa 1 no fue tomada directamente de la misma, puesto que al determinar ese parámetro, la cantidad de grasas resultantes era demasiado elevada, por lo que se decidió hacer una primera separación para luego hacer la determinación.

La cantidad de grasas determinadas en la fosa 1, no se considera muy confiable, debido a que cuando se hizo la caracterización de ésta, se estaba implementando este método en el laboratorio de la planta y es por esto que no en todos los eventos se realizó la determinación de grasas y aceites (tabla 2).

Después de haber implementado este método en la planta se hicieron las caracterizaciones para el agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado de Pantopox y es por ello que esos resultados son más confiables que los anteriores.

Para el agua de lavado de DOP la cantidad de grasas y aceites presentes antes de la realización del tratamiento primario, fue bastante elevado (tabla 4).

En el agua de reacción de DOP, también en dos ocasiones se encontraron cantidades muy grandes de grasas y aceites (tabla 5) y esto fue debido a que hubo problemas de operación en la planta. Estas muestras de grasas y aceites fueron analizadas por medio de un cromatógrafo de gases, en donde se encontró la composición de esta fase aceitosa, la cual en su mayoría fue DOP y 2-etilhexanol (tabla 13), que fueron los causantes de que se obtuviera un resultado tan elevado de grasas y aceites para esas muestras antes de la realización del tratamiento primario.

Para el agua de lavado de Pantopox, también se encontraron variaciones considerables en la cantidad de grasas y aceites presentes (tabla 6). Esto fue debido a que hubo problemas de operación en la planta, para la producción de este material.

Los resultados correspondientes a grasas y aceites de las tablas 2, 4, 5 y 6 se presentan en la gráfica 5).

b) Después de la realización del tratamiento primario

La cantidad de grasas y aceites determinada en la fosa 2, no se puede considerar como un parámetro confiable, puesto que el método utilizado para su

determinación apenas se estaba implementando en el laboratorio de la planta cuando se realizó la caracterización de esta fosa (tabla 3).

A pesar de que al agua de lavado de DOP se le trató de eliminar la mayor cantidad de grasas presentes en el tratamiento primario a nivel laboratorio (tabla 7), no fue la suficiente como para cumplir con los límites establecidos por la normatividad mexicana.

Para el agua de reacción de DOP, las grasas y aceites determinadas después del tratamiento primario a nivel de laboratorio (tabla 8), son menores que antes de la realización del tratamiento primario y su eliminación no fue lo suficientemente efectiva como para cumplir con lo establecido por las normas oficiales mexicanas.

En el agua de lavado de Pantopox la cantidad de grasas y aceites después de la realización del tratamiento primario a nivel laboratorio (tabla 9) fue bastante elevado y aunque la eliminación de grasas se hizo en forma cuidadosa, no fue lo suficientemente efectiva para eliminarlas por completo y cumplir con las normas oficiales mexicanas.

Se graficaron los resultados correspondientes a grasas y aceites de las tablas 3, 7, 8, 9 para poder hacer una mejor comparación de ellos, y estos se muestran en la gráfica 6.

- **Determinación de materia flotante**

- a) Antes de la realización del tratamiento primario

En la fosa 1, la materia flotante siempre se encontró presente (tabla 2). Esto es debido a que mucha basura de la planta es desechada en los drenajes que van a la planta de tratamiento de aguas. Es por ello que aquí se encuentran todo tipo de materiales.

Al tratar los efluentes por separado (tablas 4, 5 y 6), nunca se encontró materia flotante presente, debido a que el agua para muestrearse era tomada directamente a la salida del reactor.

Un análisis comparativo de materia flotante se muestra en la gráfica 7.

b) Después de la realización del tratamiento primario

La cantidad de materia flotante presente en la fosa 1, fue eliminada por completo, con ayuda de las rejillas que se encuentran en el tratamiento primario, por lo que la fosa 2 (tabla 3) no presentó materia flotante cumpliendo así con los parámetros establecidos por la normatividad mexicana.

Para el agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado de Pantopox no fue necesario hacer una eliminación de materia flotante, a nivel de laboratorio (tablas 7, 8, 9), puesto que nunca estuvo presente, ya que las muestras fueron tomadas de la planta en las tuberías correspondientes y no contenían materia flotante presente.

Los resultados correspondientes a materia flotante de las tablas 3, 7, 8 y 9 se presentan en la gráfica 8 para poder hacer un comparativo entre ellos.

- **Determinación de sólidos sedimentables**

- a) Antes de la realización del tratamiento primario

En la fosa 1, la cantidad de sólidos sedimentables es muy variable, puesto que en la mayoría de los casos es cero, aunque cuando estos se encontraron presentes, la cantidad era muy elevada (tabla 2)

Para el agua de lavado de DOP, se encontraron cantidades apenas apreciables de sólidos sedimentables cuando se hizo la caracterización de ésta (tabla 4), lo que hacía suponer que este parámetro permanecería constante, pero esto no fue así; en dos ocasiones se tuvieron serios problemas de operación y la cantidad de sólidos sedimentables presentes fueron demasiado elevados (caracterización no reportada en la tabla correspondiente).

Estos sólidos fueron analizados por medio de un cromatógrafo de gases para conocer su composición química, y se encontró que en su mayoría era DOP (tabla 14), lo cual indica un mal control en el proceso de producción de este material.

Tanto para el agua de reacción de DOP como para el agua de lavado de Pantopox, nunca se encontraron sólidos sedimentables (tablas 5 y 6).

Los resultados de las tablas 2, 4, 5, 6 correspondientes a la cantidad de sólidos sedimentables se presentan en la gráfica 9.

b) Después de la realización del tratamiento primario

En la fosa 2, se lograron disminuir los sólidos sedimentables y de todas las caracterizaciones llevadas a cabo a nivel de laboratorio para esta fosa (tabla 3). solo una vez no se alcanzó el parámetro establecido por la normatividad mexicana.

De acuerdo a lo observado en los procesos por separado, es posible que los sólidos sedimentables presentes en la fosa 1, fueran debido al mal control de operación de los reactores en la producción de DOP, reflejado en el agua de lavado, que es en donde se presentaron estos mismos sólidos sedimentables.

Para el agua de lavado de DOP (tabla 7), el agua de reacción de DOP (tabla 8) y para el agua de lavado de Pantopox (tabla 9) no fue necesario hacer eliminación de sólidos sedimentables en el laboratorio por lo que se puede decir que se cumple con la normatividad mexicana en este parámetro.

Los resultados de las tablas 3, 7, 8, 9 correspondientes a la cantidad de sólidos sedimentables se presentan en la gráfica 10.

- **Determinación de DQO**

- a) Antes de la realización del tratamiento primario

Tanto en las fosas de la planta de tratamiento de aguas como tratando los efluentes por separado, la cantidad de DQO presente en el agua es muy elevada, debido a la cantidad de materia orgánica presente (tablas 2, 4, 5, 6).

En un principio se creía que la cantidad de DQO determinada en las muestras de agua era incorrecta, debido a una presencia de cloruros en éstas, pero la determinación de cloruros resultó negativa (gráfica 13), por lo que el valor de DQO presente en el agua antes de la realización del tratamiento primario es correcto.

Los resultados de las tablas 2, 4, 5, 6 correspondientes a DQO se presentan en la gráfica 11.

- b) Después de la realización del tratamiento primario

A pesar de que con el tratamiento primario se reduce una cantidad considerable de DQO presente tanto en la fosa 1, como en el agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado de Pantopox tratados a nivel

de laboratorio (tablas 3, 7, 8, 9), éste no es lo suficientemente efectivo como para poder descargar estos efluentes a bienes nacionales ni a drenajes o alcantarillados municipales y/o urbanos.

Los resultados de las tablas 3, 7, 8, 9 se muestran en la gráfica 12, para poder hacer un mejor análisis comparativo entre la fosa 2 y los efluentes por separado, como son el agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado de Pantopox.

La determinación de cloruros después de la realización del tratamiento primario resulto negativa, puesto que durante el tratamiento no hay procesos que utilicen estos productos y que llegaran alterar este parámetro.

De acuerdo a la tabla 12, los resultados de DBO y DQO, indican que hay grandes cantidades de material no biodegradable presente en el agua residual, ocasionando condiciones de anaerobiosis y, por tanto, será necesario considerar algún tipo de tratamiento secundario anaerobio. Esto obedece al hecho de que los reactores aerobios no son viables para tratar aguas que contengan concentraciones mayores de 5000 mg DBO₅/L

Con el propósito de conocer otras alternativas para el tratamiento de estas aguas residuales, se decidió consultar a diferentes compañías para que hicieran propuestas de tratamientos alternos que pudieran obtener como producto un agua que cumpla con la normatividad mexicana, por lo cual se les dio a conocer la caracterización del agua residual que se desarrolló para el presente estudio (tablas 2 a 14). En el anexo 3 se dan las propuestas de dos de ellas.

- **Determinación de conductividad**

- a) Antes de la realización del tratamiento primario

Tanto en la fosa 1 (tabla 2) como para el agua de lavado de DOP (tabla 4) y el agua de lavado de Pantopox (tabla 6), las conductividades son parámetros muy elevados y superiores a 5000 micromho/cm.

Para el agua de reacción de DOP la conductividad es un parámetro que permanece inferior a los 300 micromho/cm antes de la realización del tratamiento primario (tabla 5).

Para los resultados de las tablas 2, 4, 5, 6 correspondientes a conductividad se realizó la gráfica 15.

TESIS NO DEBE
DE LA BIBLIOTECA

b) Después de la realización del tratamiento primario

En la fosa 2 (tabla 3), la conductividad es un parámetro que permanece constante a partir de la fosa 1 y ésta no disminuye después de darle el tratamiento primario al agua; por lo que no se cumple con la normatividad mexicana.

Tanto el agua de lavado de DOP (tabla 7) como el agua de lavado de Pantopox (tabla 9), no cumplen con los límites máximos establecidos por la normatividad mexicana, pues a pesar de que al agua se le da un tratamiento primario a nivel de laboratorio, la conductividad no se altera y permanece dentro del mismo intervalo que antes de la realización del tratamiento primario.

En el agua de reacción de DOP (tabla 8) la conductividad también permanece dentro del mismo intervalo antes y después del tratamiento primario a nivel laboratorio, pero en este caso la conductividad es lo suficientemente baja para cumplir con los límites establecidos por la normas oficiales mexicanas.

La gráfica 16 muestra los resultados de las tablas 3, 7, 8 y 9 correspondientes a los resultados de conductividad obtenidos.

- **Determinación de sólidos suspendidos totales**

La determinación de sólidos suspendidos totales es una determinación que se acaba de implementar en el laboratorio de la planta de producción de plastificantes, por lo que a la fosa 1 y a la fosa .2, no se les determinó este parámetro, por haberse realizado la caracterización de ellas el año pasado.

a) Antes de la realización del tratamiento primario

Los sólidos suspendidos totales en el agua de lavado de DOP antes del tratamiento primario son muy elevados (tabla 4).

Para el agua de reacción de DOP, se puede apreciar que la cantidad de sólidos presentes es pequeña (tabla 5).

Los sólidos suspendidos totales del agua de lavado de Pantopox, son bastante elevados antes de la realización del tratamiento primario (tabla 6).

La gráfica 17 muestra los resultados de las gráficas 4, 5, 6 correspondientes a sólidos suspendidos totales.

b) Después de la realización del tratamiento primario

Para el agua de lavado de DOP al realizar un tratamiento primario a nivel laboratorio se puede observar que la cantidad de sólidos suspendidos totales disminuye de forma apreciable (tabla 7) cumpliendo así con las normas oficiales mexicanas, a pesar de que en una de las caracterizaciones, la cantidad de sólidos suspendidos totales fue bastante elevada.

Para el agua de reacción de DOP la eliminación de los sólidos suspendidos totales en el tratamiento primario a nivel laboratorio (tabla 8), fue casi completa logrando lo establecido en los límites máximos permisibles de la normatividad mexicana.

Con respecto a la eliminación de sólidos suspendidos totales en el agua de lavado de Pantopox a nivel laboratorio, ésta fue bastante efectiva (tabla 9) y se lograron obtener los parámetros señalados por la normatividad mexicana.

La gráfica 18 muestra los resultados correspondientes a sólidos suspendidos totales de las tablas 7, 8, 9.

- **Determinación de fenoles y fluoruros**

Estas determinaciones se hicieron en el Laboratorio de Control Analítico de la Facultad de Química, puesto que en la planta de producción de plastificantes y resinas, no se contaba con el equipo necesario para hacer estas determinaciones^(27,34)

En la NOM-CCA-005-ECOL/1993 se solicitaban estas determinaciones como parte de un análisis a cumplir para desechar los efluentes acuosos a cuerpos receptores, pero actualmente la NOM-001-ECOL-1996 que abrogó a la anterior, estos parámetros ya no se solicitan.

Para la NOM-CCA-031-ECOL/1993 esta determinación es exigida, y aunque se sabe que los efluentes acuosos de la planta de producción de plastificantes y resinas no maneja estas sustancias se hizo el análisis para detectar su presencia.

a) Antes de la realización del tratamiento primario

La planta cumple con los límites establecidos por la normatividad mexicana respecto a la cantidad presente de estas sustancias puesto que no se manejan para la producción de plastificantes (tabla 11).

- **Determinación de metales pesados y cianuros**

Estas determinaciones se hicieron en el Laboratorio de Control Analítico de la Facultad de Química, puesto que en la planta de producción de plastificantes y resinas, no se contaba con el equipo necesario para hacer estas determinaciones^(26, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35).

A pesar de que en los procesos de producción de estos plastificantes no se utilizan metales pesados ni cianuros, se hizo la determinación de ellos para cumplir con las especificaciones de la normatividad mexicana.

a) Antes de la realización del tratamiento primario

La cantidad de metales presentes en los efluentes acuosos de la planta de producción plastificantes cumple con la normatividad mexicana respecto a los límites establecidos para metales pesados y cianuros(tabla 10).

b) Después de la realización del tratamiento primario

En el tratamiento primario para los efluentes acuosos no se utiliza ningún sistema de eliminación de metales pesados debido a que no se considera necesario si

estos no están presentes en el agua proveniente de los procesos de producción de plastificantes presentados en éste estudio.

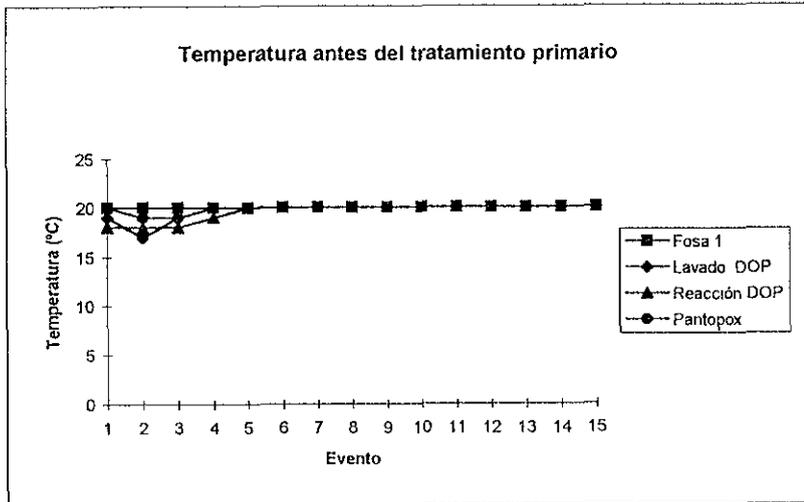
A continuación se muestran las gráficas (gráficas 1 a 18) de los resultados obtenidos y que se encuentran citadas en párrafos anteriores.

Actualmente se están estudiando parámetros experimentales, tales como DBO soluble y las condiciones adecuadas para llevar a cabo algún tratamiento secundario, esto a través de la segunda parte de este estudio que se esta desarrollando en la planta de producción de resinas y plastificantes.

Determinación de temperatura de los efluentes acuosos

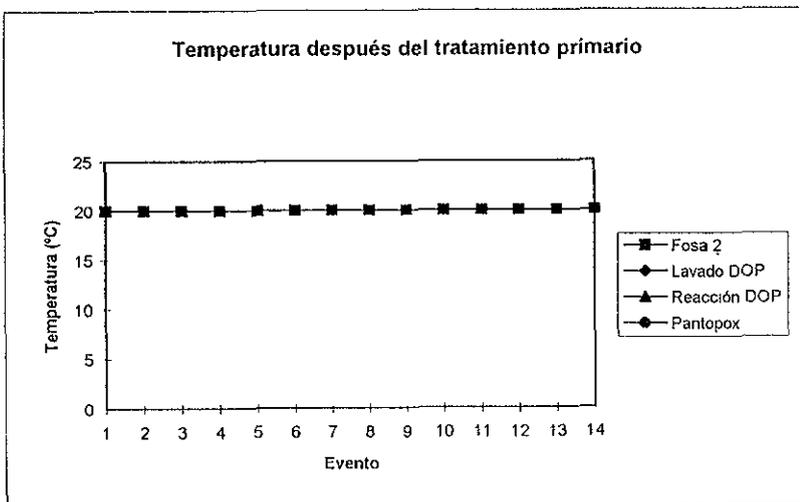
GRÁFICA 1

Antes del tratamiento primario



GRÁFICA 2

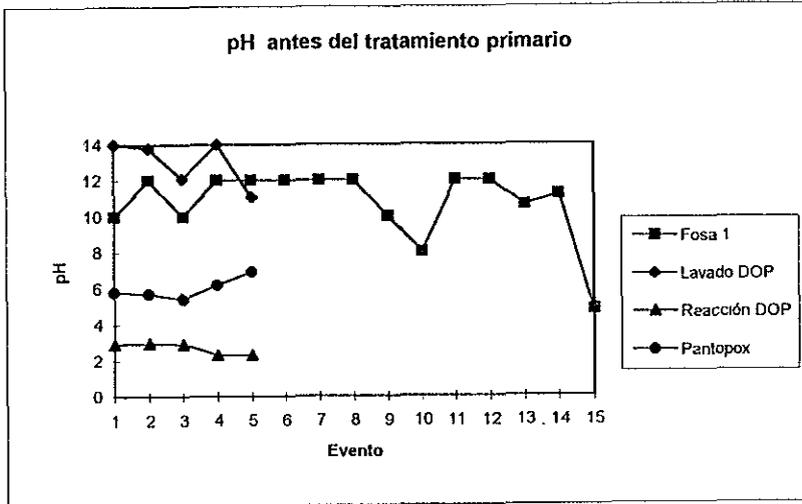
Después del tratamiento primario



Determinación de pH de los efluentes acuosos

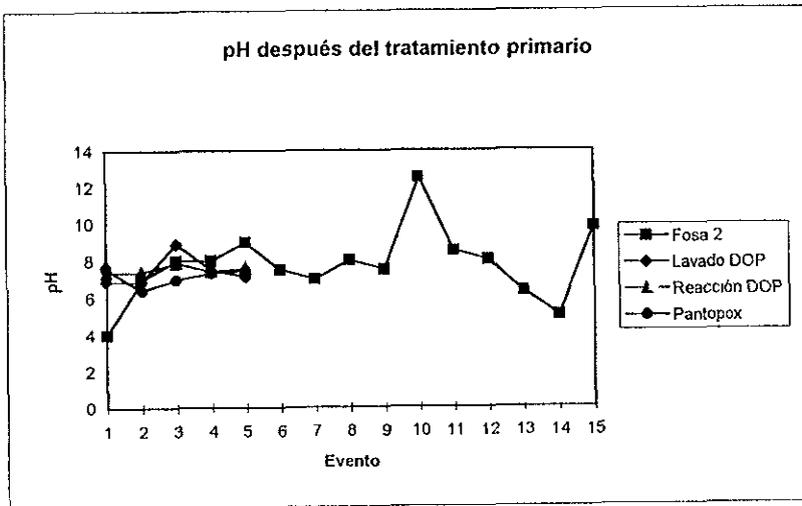
GRÁFICA 3

Antes del tratamiento primario



GRÁFICA 4

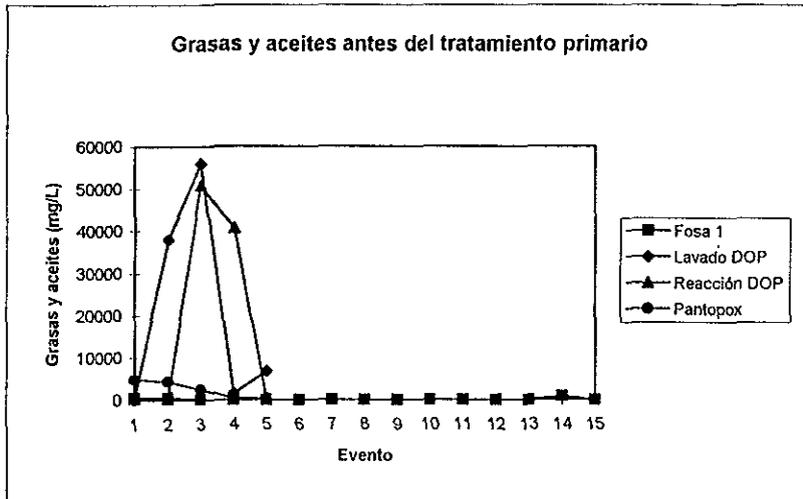
Después del tratamiento primario



Determinación de grasas y aceites de los efluentes acuosos

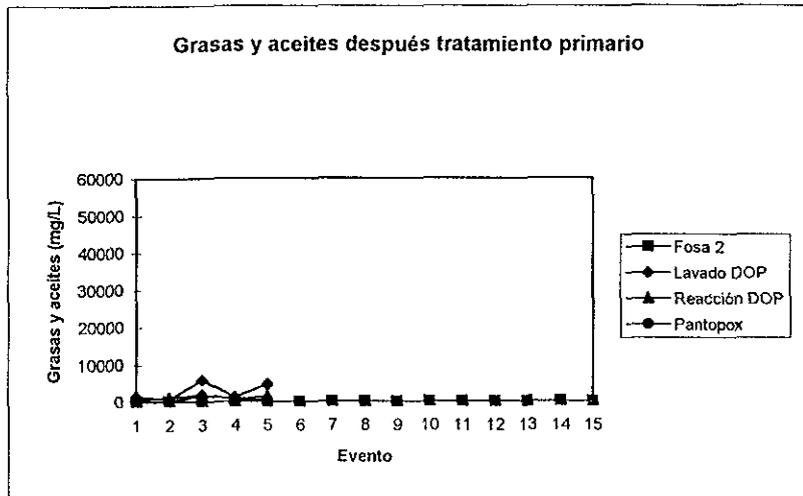
GRÁFICA 5

Antes del tratamiento primario



GRÁFICA 6

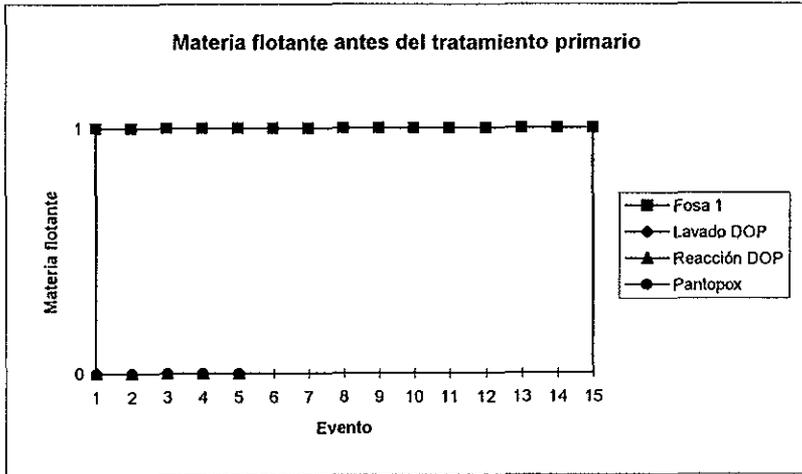
Después del tratamiento primario



Determinación de materia flotante de los efluentes acuosos

GRÁFICA 7

Antes del tratamiento primario

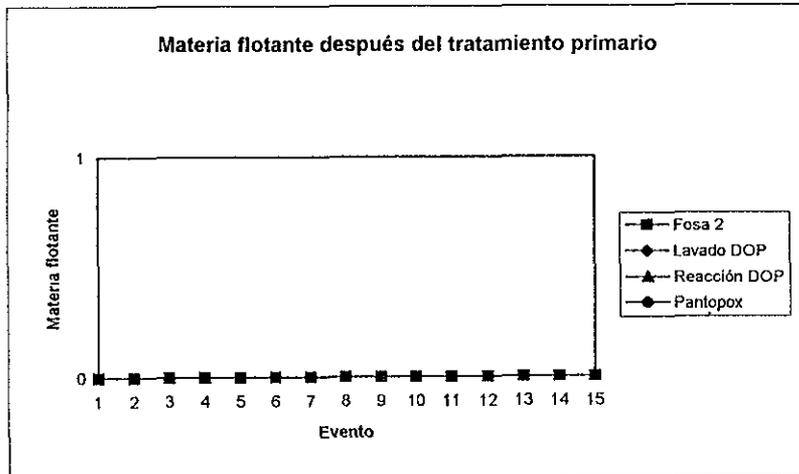


Materia flotante 0: Ausente

Materia flotante 1: Presente

GRÁFICA 8

Después del tratamiento primario



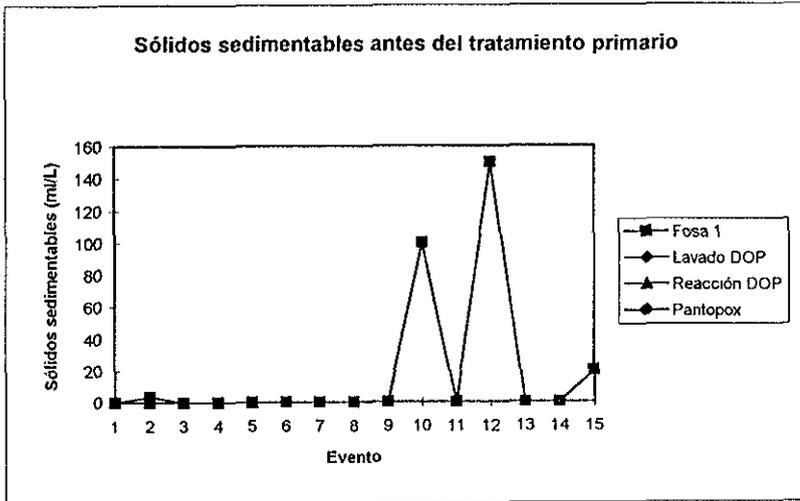
Materia flotante 0: Ausente

Materia flotante 1: Presente

Determinación de sólidos sedimentables de los efluentes acuosos

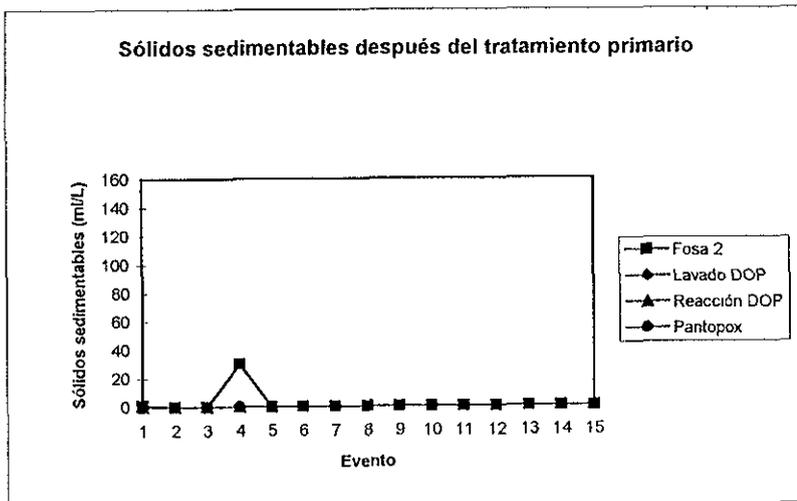
GRÁFICA 9

Antes del tratamiento primario



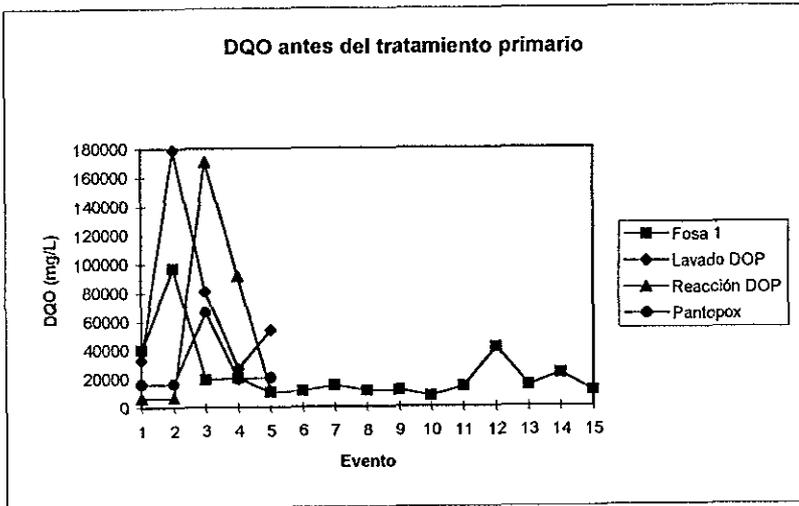
GRÁFICA 10

Después del tratamiento primario

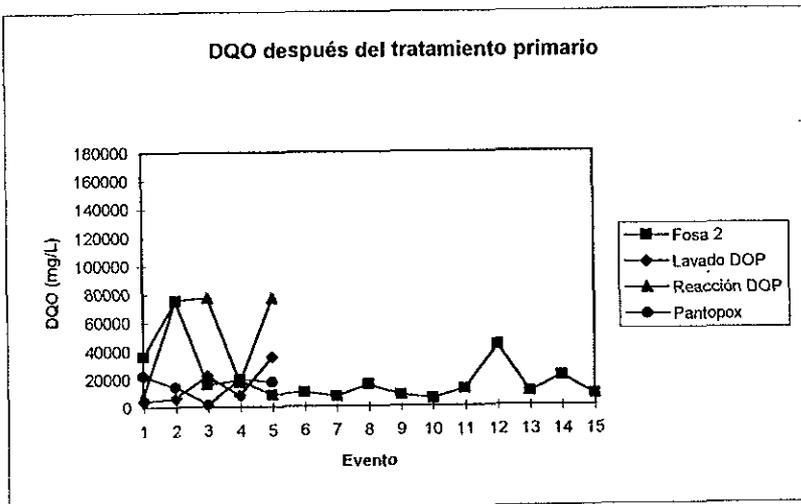


Determinación de DQO de los efluentes acuosos

GRÁFICA 11
Antes del tratamiento primario



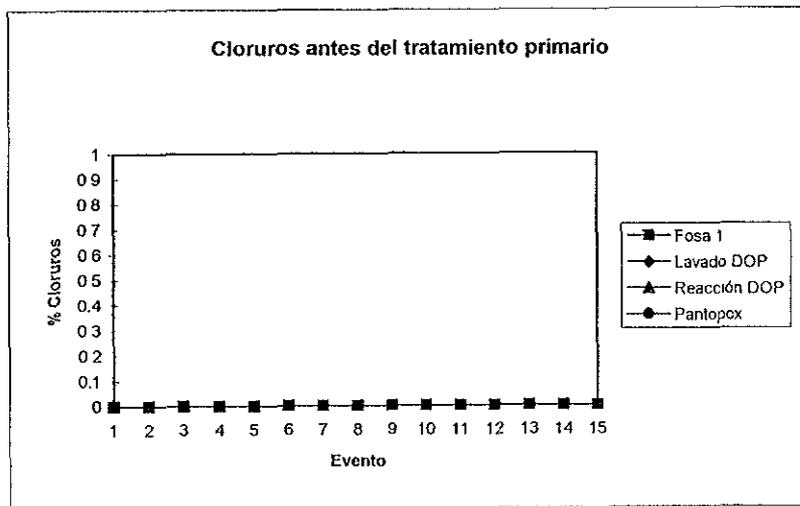
GRÁFICA 12
Después del tratamiento primario



Determinación de cloruros de los efluentes acuosos

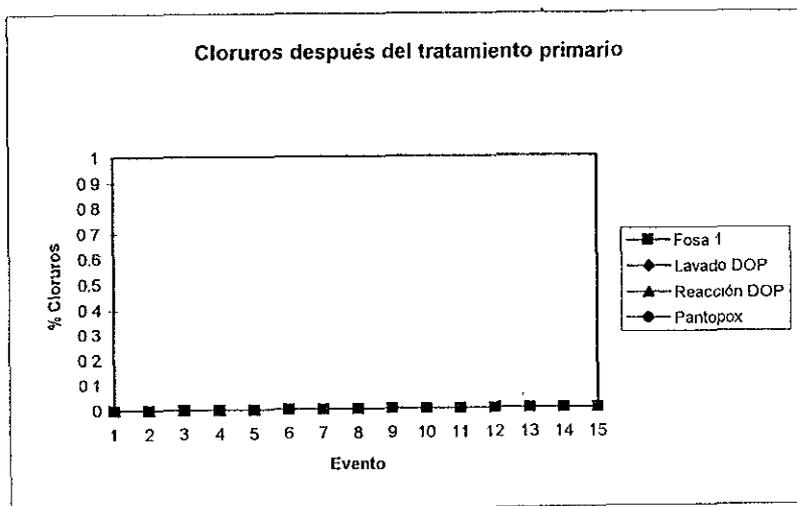
GRÁFICA 13

Antes del tratamiento primario



GRÁFICA 14

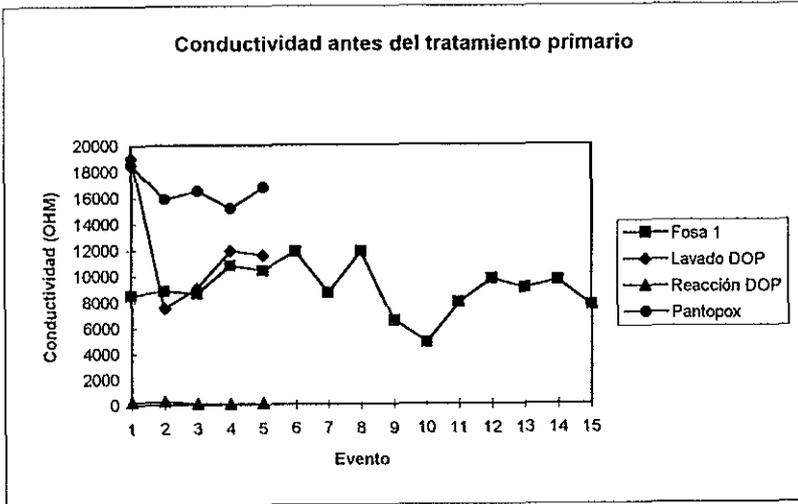
Después del tratamiento primario



Determinación de conductividad de los efluentes acuosos

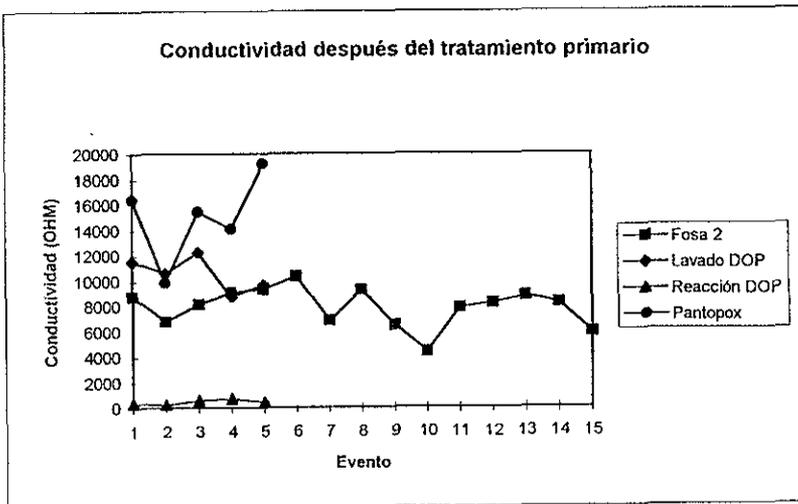
GRÁFICA 15

Antes del tratamiento primario



GRÁFICA 16

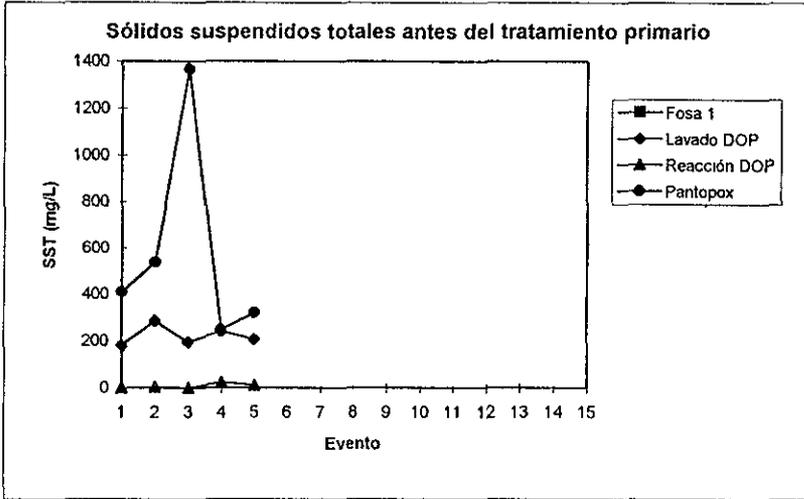
Después del tratamiento primario



Determinación de sólidos suspendidos totales de los efluentes acuosos

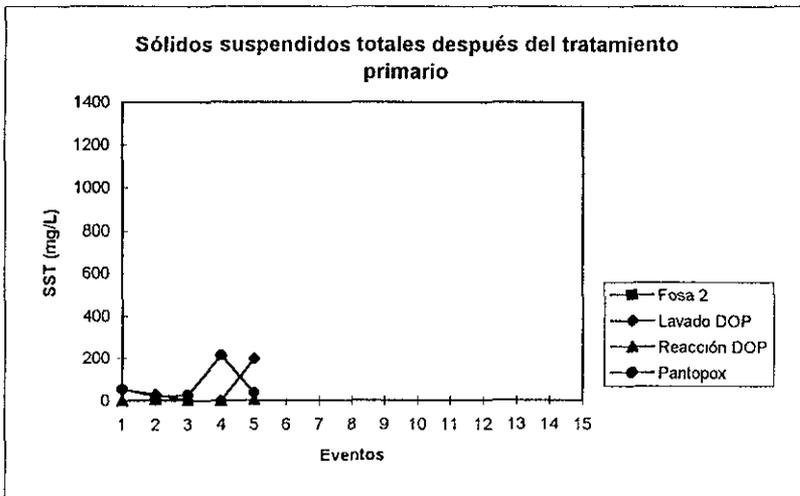
GRÁFICA 17

Antes del tratamiento primario



GRÁFICA 18

Después del tratamiento primario



CAPÍTULO 5

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CUMPLIMIENTO CON LA NORMATIVIDAD MEXICANA

Comparando los resultados obtenidos después de la realización del tratamiento primario a nivel industrial y en forma individual a cada una de las aguas problema a nivel laboratorio, con los solicitados por la normatividad mexicana que aplica a este tipo de industrias para descargar el agua a cuerpos receptores, drenajes y alcantarillados urbanos y municipales, se puede decir que los parámetros que cumplieron con lo establecido son los que se presentan en la tabla 15.

Los parámetros que no cumplieron con los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales establecidos por la normatividad mexicana fueron:

- Grasas y aceites
- Demanda química de oxígeno (DQO)
- Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)
- Conductividad en la fosa 2, en el agua de lavado de DOP y agua de lavado de Pantopox.

TABLA 15

Cumplimiento de los parámetros analizados con respecto a la normatividad mexicana

Parámetros	Fosa 2	Agua de lavado de DOP	Agua de reacción de DOP	Agua de lavado de Pantopox
Temperatura (°C)	SI	SI	SI	SI
pH	SI	SI	SI	SI
Grasas y aceites (mg/L)	?	NO	NO	NO
Materia flotante	SI	SI	SI	SI
Sólidos sedimentables (mL/L)	SI	SI	SI	SI
DQO (mg/L)	NO	NO	NO	NO
DBO (mg/L)	NO	NO	NO	NO
Conductividad (µS/cm)	NO	NO	SI	NO
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	?	SI	SI	SI
Fenoles (mg/L)	SI	SI	SI	SI
Fluoruros (mg/L)	SI	SI	SI	SI
Metales pesados (mg/L)	SI	SI	SI	SI
Cianuros (mg/L)	SI	SI	SI	SI

DOP: Ftalato de dioctilo

PANTOPOX: Aceite epoxidado de soya

?: Valores que no corresponden con precisión a la realidad

5.2 TRATAMIENTO PRIMARIO ACTUAL

CONCLUSIONES

El tratamiento primario actual de la planta de producción de plastificantes y resinas en donde se realizó el presente estudio, no da como resultado un efluente que cumpla con la normatividad mexicana en donde se establecen los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales (NOM-001-ECOL-1996) ni con la NOM-CCA-031-ECOL/1993 la cual establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenajes y alcantarillado urbano o municipal.

RECOMENDACIONES PARA MEJORAR EL SISTEMA ACTUAL

Al tratamiento primario actual, se le pueden hacer modificaciones para obtener una mejor remoción de contaminantes, y se sugiere utilizar la fosa 0 (la cual se encuentra cerrada actualmente) para que lleguen los efluentes provenientes de los procesos de producción de plastificantes para, posteriormente pasar estos efluentes a

través de un sistema de rejillas con el propósito de eliminar los sólidos presentes.(Ver diagrama 2).

Una vez separados los sólidos del agua, ésta se bombeará a la fosa 1, la cual tendrá el propósito de retener los sólidos sedimentables que no fueron asentados en la fosa 0 . De ahí el agua libre de sólidos debe ser llevada a un separador de grasas diseñado para este propósito (el que se encuentra en uso actualmente no fue diseñado como separador de grasas), en donde se separará la grasa del agua.

El agua libre de grasas, pasará a un tanque de neutralización para adecuarle el valor de pH a 7 y continuará con un proceso de tratamiento químico de precipitación del material disuelto (coagulación-floculación) como se hace en la planta actualmente, para posteriormente descargar en la fosa 2 y darle al agua un tratamiento adecuado.

Con estas pequeñas mejoras al sistema de tratamiento primario de la planta de aguas residuales, se pueden obtener mejores resultados en la disminución de contaminantes presentes en el agua y hacer un estudio para saber si se cumple con la normatividad mexicana.

5.3 TRATAMIENTO PRIMARIO PROPUESTO

RECOMENDACIONES

Se recomienda la separación de efluentes provenientes de los procesos de producción de plastificantes para tener un mejor control de éstos en las diferentes etapas del tratamiento .

Con esta modificación, a cada uno de los efluentes provenientes de los procesos de producción de plastificantes, se les daría un tratamiento primario de acuerdo a sus características.

El tratamiento primario para los efluentes por separado, se puede hacer utilizando los equipos que ya se tienen en la planta de tratamiento actual, pero con las modificaciones necesarias como se describe:

a) Se propone que a la fosa 0 y en la fosa 1 se le hagan tres separaciones para depositar en cada una de ellas, el agua proveniente de cada proceso; es decir el agua de lavado de DOP, el agua de reacción de DOP y el agua de lavado del aceite de soya (para los efluentes provenientes de otros procesos de producción de plastificantes, estos se podrían combinar con alguno de los tres anteriormente mencionados, puesto que sus características no alteran ninguna de las corrientes acuosas separadas en esta fosa).

b) Se propone, asimismo, la sustitución del separador de grasas por un equipo diseñado para este propósito y, posteriormente, seguir el tratamiento primario corriente por corriente como se propone en el diagrama 3.

Al terminar el tratamiento de cada uno de los diferentes efluentes, el agua se llevará a la fosa 2, en la cual se juntarán todos los efluentes, pues ahí las características del agua deberán ser semejantes para llevarlos a un tratamiento adecuado (actualmente en estudio) que asegure que la calidad del agua de salida cumpla con la normatividad mexicana en lo relativo a las descargas de aguas residuales (Ver Anexo 2).

NOTA

Actualmente, al agua proveniente de la fosa 2, se le están haciendo análisis para determinar la cantidad de DBO soluble y continuar este estudio, para así tener mayores alternativas para solucionar el problema. Como se mencionó en el inciso 4.9, el agua residual contiene entre 7000 y 14000 mg de DBO_5/L disuelto. Las empresas consultadas ofrecieron opciones pero éstas se consideran poco viables ya que los sistemas aerobios son idóneos para efluentes que contienen menos de 5000 mg de DBO_5/L y aún a estas concentraciones ya los costos de aireación son demasiados elevados.

Diagrama 2

Modificaciones al sistema de tratamiento actual

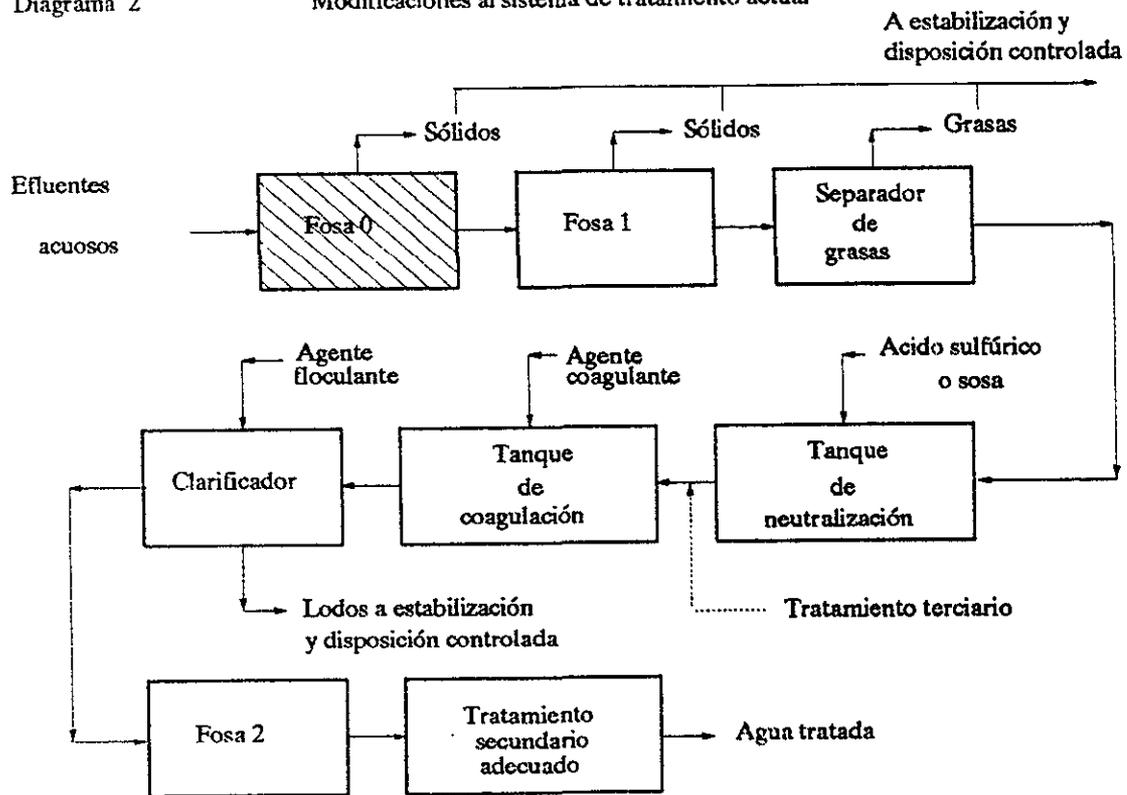
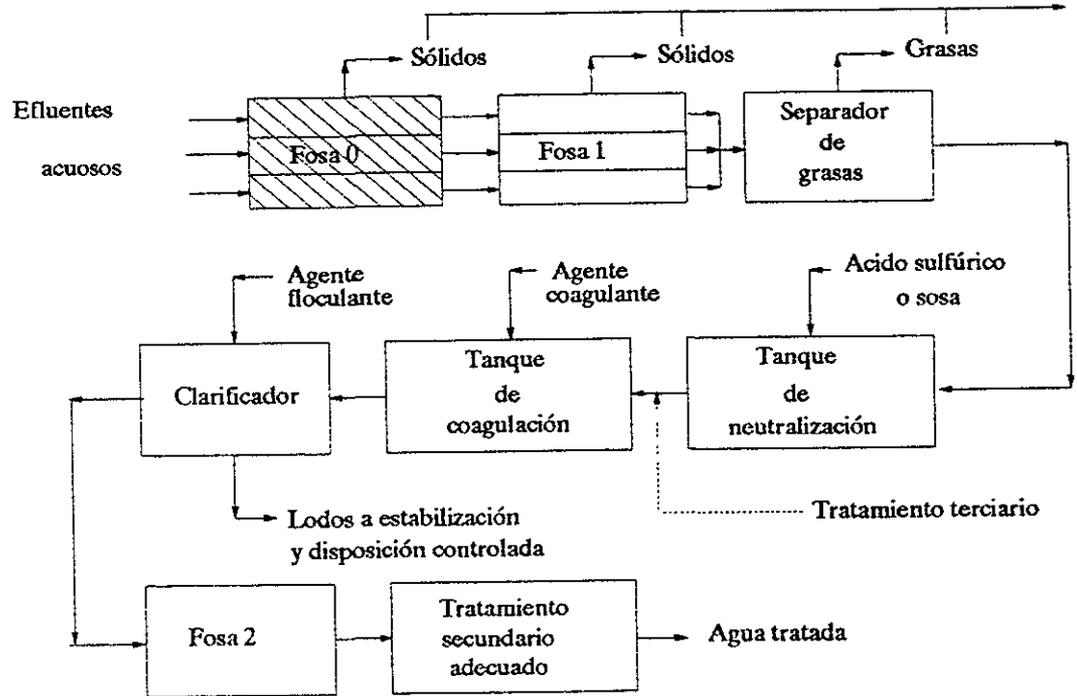


Diagrama 3

Sistema de tratamiento propuesto

A estabilización y
disposición controlada



BIBLIOGRAFÍA

Libros

1. CASTELLAN Gilbert W. Fisicoquímica.

Segunda edición. Massachusetts 1987. Editorial

Addison-Wesley Iberoamericana. Massachusetts, Estados Unidos de América.

2. ECKENFELDER W. Wesley. Industrial Water Pollution Control.

Second edition. 1989. McGraw-Hill Book Company. Nueva York, Estados Unidos de América.

3. ELLMS Joseph W. Water Purification. Second edición.

New York, Estados Unidos de América 1928.

McGraw-Hill Book Company.

4. FIESER Louis, FIESER Mary. Química Orgánica.

Segunda Edición. Estados Unidos de América

1960. Editorial Grijalbo, S.A.

5. FLECK Ronald. Plásticos, su estudio científico y tecnológico.

Tercera edición. Barcelona, España 1953.

Editorial Gustavo Gili, S.A.

6. S.G. Luxon. Health and Safety Consultant.

Hazards in the Chemical Laboratory.

The Royal Society of Chemistry. 1992.

Estados Unidos de América.

7. The Merck Index. An Encyclopedia of Chemicals, Drugs and Biologicals.

Twelfth Edition. Published by Merck Research Laboratories.

Division of Merck and Company, Inc. Whitehouse Station, NJ.

1996. Estados Unidos de América.

8. McMURRY John. Química Orgánica. Tercera edición.

Grupo Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V.

Estados Unidos de América 1994

9. RAMALHO R.S. Tratamiento de aguas Residuales.

Segunda edición. Editorial Reverté. Barcelona, España 1993

Tesis

10. BETANCOURT Mar Juvencio Alberto. “ Desarrollo de un proceso de epoxidación de aceites insaturados, sustituyendo al reactante peróxido de hidrógeno por oxígeno del aire en la generación del perácido”.

Ciudad Madero, Tams. Marzo de 1994.

11. FLORES Sánchez Víctor Manuel. “Tratamiento y control de aguas residuales en una planta de resinas poliéster”.

México, D.F.. Octubre de 1993.

Normas Oficiales Mexicanas

12. Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales y bienes nacionales.

13. Proyecto de Norma Oficial Mexicana NOM-002-ECOL-1996 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a los sistemas de alcantarillado.

14. Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-005-ECOL/1993 De las aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos.

15. Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993 Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria, actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

16. Norma Mexicana NMX-AA-003 Aguas residuales - Muestreo.

17. Norma Mexicana NMX-AA-004 Aguas residuales - Determinación de sólidos sedimentables en aguas residuales - Método de cono Imhoff, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 13 de septiembre de 1977.

18. Norma Mexicana NMX-AA-005 Aguas residuales - Determinación de grasas y aceites - Método de extracción soxhlet, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 8 de agosto de 1980.

19. Norma Mexicana NMX-AA-006 Aguas residuales - Determinación de materia flotante - Método visual con malla específica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 5 de diciembre de 1973.

20. Norma Mexicana NMX-AA-007 Aguas residuales - Determinación de temperatura - Método visual con termómetro, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 23 de julio de 1980.

21. Norma Mexicana NMX-AA-008 Aguas residuales - Determinación de pH - Método potenciométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 25 de marzo de 1980.

22. Norma Mexicana NMX-AA-026 Aguas residuales - Determinación de nitrógeno total - Método de Kjeldahl, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 27 de octubre de 1980.

23. Norma Mexicana NMX-AA-028 Aguas residuales - Determinación de demanda bioquímica de oxígeno - Método de incubación por diluciones, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 6 de julio de 1981.

24. Norma Mexicana NMX-AA-029 Aguas residuales - Determinación de fósforo total - Métodos espectrofotométricos, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de octubre de 1981.

25. Norma Mexicana NMX-AA-034 Aguas residuales - Determinación de sólidos en agua - Método gravimétrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de julio de 1981.

26. Norma Mexicana NMX-AA-046 Aguas residuales - Determinación de arsénico en agua - Método espectrofotométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 21 de abril de 1982.

27. Norma Mexicana NMX-AA-050 Aguas residuales - Determinación de fenoles - Método espectrofotométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación.

28. Norma Mexicana NMX-AA-051 Aguas residuales - Determinación de metales - Método espectrofotométrico de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 22 de febrero de 1982.

29. Norma Mexicana NMX-AA-057 Aguas residuales - Determinación de plomo - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 29 de septiembre de 1981.

30. Norma Mexicana NMX-AA-058 Aguas residuales - Determinación de cianuros - Método colorimétrico y titulométrico espectrofotométrico, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 14 de diciembre de 1982.

31. Norma Mexicana NMX-AA-060 Aguas residuales - Determinación de cadmio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 26 de abril de 1982.

32. Norma Mexicana NMX-AA-064 Aguas residuales - Determinación de mercurio - Método de la ditizona, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 3 de marzo de 1982.

33. Norma Mexicana NMX-AA-066 Aguas residuales - Determinación de cobre - Método de la neocuproína, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 16 de noviembre de 1981.

34. Norma Mexicana NMX-AA-077 Aguas residuales - Determinación de fluoruros - Método colorimétrico del SPANDS, publicada en el Diario Oficial de la Federación.

35. Norma Mexicana NMX-AA-078 Aguas residuales - Determinación de zinc - Métodos colorimétricos de la ditizona I, la ditizona II y espectrofotometría de absorción atómica, publicada en el Diario Oficial de la Federación el 12 de julio de 1982.

Artículos

36. ECKENFELDER, ARGAMAN, MILLER. Process selection criteria for the biological treatment of industrial wastewaters. Environmental Progress (Vol.8, No.1). February 1989.

ANEXO 1

DEFINICIONES

Demanda teórica de oxígeno⁽⁹⁾

Es la cantidad estequiométrica de oxígeno requerida para oxidar completamente un determinado compuesto. Se expresa en kg de oxígeno requerido por litro de solución. Es un valor calculado y sólo puede evaluarse si se dispone de un análisis químico completo del agua residual, lo cual no es normalmente el caso.

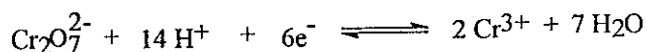
Demanda química de oxígeno (DQO)⁽⁹⁾

La DQO es una medida de toda la materia presente en disolución y/o suspendida susceptible de oxidación química con dicromato o permanganato, en medio ácido. El valor de DQO evidentemente no debe esperarse que sea igual a la demanda teórica de oxígeno.

Los análisis normalizados para la determinación de la DQO dan valores que varían entre el 80 y el 85% de la demanda teórica de oxígeno, dependiendo de la composición química del agua residual que se está ensayando.

Método normalizado de oxidación al dicromato

Este método se utiliza ampliamente para determinar la contaminación de materia orgánica en aguas residuales. Este ensayo se lleva a cabo calentando (durante dos horas) en condiciones de reflujo total una muestra de volumen determinado con un exceso conocido de dicromato potásico ($K_2Cr_2O_7$) en presencia de ácido sulfúrico (H_2SO_4) utilizando sulfato de plata (Ag_2SO_4) como catalizador. La materia orgánica en la muestra se oxida, y como resultado se consume el dicromato de color amarillo obteniendo como resultado un color verdoso producido por el ión crómico.



La medición se lleva a cabo por valoración del dicromato restante o por determinación colorimétrica del ión cromo producido.

Para el método de valoración de la DQO, a menudo se utiliza sulfato ferroso amoniacal, se debe tener cuidado, ya que este reactivo pierde su normalidad con el

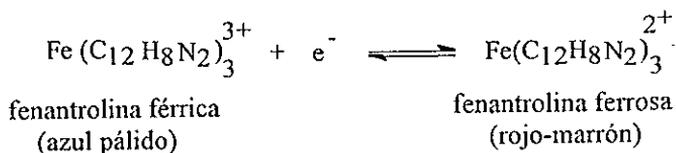
paso del tiempo debido a la oxidación en presencia de aire. Por ello se recomienda un reactivo nuevo recién preparado, para tener en cuenta esta degradación.

El procedimiento recomendado es enfriar la muestra después de digestión de 2 horas con dicromato potásico, y añadir 5 gotas de indicador de 1,10 fenantrolina (ferroína) y hacer la valoración con el sulfato ferroso amoniacal hasta que se obtenga un color rojo-marrón como resultado. Esto se debe hacer cuidadosamente, ya que el punto final es bastante crítico. El color rojo-marrón correspondiente al final del ensayo es debido a la formación de un complejo de ion ferroso con la fenantrolina.

Oxidación del sulfato ferroso amoniacal por el dicromato:



La formación del complejo ferrofenantrolina, tiene lugar tan pronto como todo el dicromato se reduce a Cr^{3+} y, en consecuencia, las adiciones posteriores de sulfato ferroso amoniacal resultan en un exceso de ión ferroso:



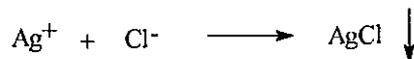
Si se opta por la determinación colorimétrica del ión cromo, se debe tomar en cuenta que la presencia de cloruros en el agua residual, interfieren con el ensayo de DQO, ya que los cloruros son oxidados por el dicromato:



Esta interferencia se evita adicionando sulfato mercúrico (HgSO_4) a la mezcla, ya que el ión mercurio se combina con el cloruro para formar cloruro de mercurio (HgCl_2) que está en forma no ionizada.



La presencia del catalizador sulfato de plata se requiere para la oxidación de ácidos y alcoholes de cadena recta. Si no se añade una cantidad suficiente de sulfato de mercurio, los cloruros en exceso precipitan el catalizador de sulfato de plata, llevando a valores erróneos de la DQO.



Demanda bioquímica de oxígeno (DBO)⁽⁹⁾

La demanda bioquímica de oxígeno se usa como una medida de la cantidad de oxígeno requerido para la oxidación de materia orgánica biodegradable presente en

la muestra de agua y como resultado de la acción bioquímica aerobia. La demanda de oxígeno de las aguas residuales es el resultado de tres tipos de materiales:

1) Materiales orgánicos carbonosos, utilizables como fuente de alimentación para organismos aerobios.

2) Nitrógeno oxidable, derivado de la presencia de nitritos, amoníaco y, en general, compuestos orgánicos nitrogenados que sirven como alimentación para bacterias específicas (Nitrosomonas y Nitrobacter).

3) Compuestos químicos reductores (ión ferroso, sulfitos, sulfuros, que se oxidan por oxígeno disuelto).

Evaluación de DBO

1. Tomar una muestra de agua para ser analizada en forma instantánea después de tomarla de la “fuente”.

2. Preparación de distintas diluciones de la muestra a ser analizada, con agua destilada. Las diluciones dependen de la concentración estimada de contaminantes

que van a ser responsables de la demanda bioquímica de oxígeno (sustancias biodegradables).

3. Utilizar botellas de incubación para colocar la muestra, las cuales deberán tener tapones de vidrio esmerilado. En la botella de DBO se debe colocar:

a) La muestra diluida.

b) Agua de dilución para completar el volumen hasta la capacidad señalada.

El agua de dilución deberá contener:

b.1) Una siembra de microorganismos.

b.2) Una solución de nutrientes para los microorganismos. Esta solución contiene fosfatos de sodio y potasio y cloruro de amonio (el nitrógeno y el fósforo son elementos necesarios como nutrientes para los microorganismos).

El valor de pH de la solución de la botella debe estar cercano a 7 (neutro). Se utiliza una solución de fosfato como agente amortiguador. Para muestras ácidas o alcalinas puede requerirse una neutralización como paso anterior al ensayo de DBO.

Se debe utilizar una botella de control como blanco (botella con agua de dilución con la siembra de nutrientes).

4. Incubación de las botellas a 20°C. Cada 24 horas se debe sacar la botella muestra y el blanco correspondiente de la incubadora y determinar el oxígeno disuelto en mg/L.

Relaciones entre la DQO y la DBO⁽⁹⁾

El valor de la DBO determinada después de 5 días de incubación, es generalmente más bajo que el de la DQO obtenido por el método de oxidación al dicromato. Las razones son:

1) Muchos compuestos orgánicos oxidados por el dicromato no son oxidables bioquímicamente.

2) Ciertos iones inorgánicos tales como sulfuros (S^{2-}), tiosulfatos ($S_2O_3^{2-}$), sulfitos (SO_3^{2-}), nitritos (NO_2^-) y ión ferroso (Fe^{2+}) son oxidados por el dicromato de potasio, lo cual significa que son tenidos en cuenta en la DQO y no son detectados en el ensayo de DBO.

ANEXO 2

NORMAS OFICIALES MEXICANAS

Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-031-ECOL/1993^(13, 15)

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de actividades agroindustriales, de servicios y el tratamiento de aguas residuales a los sistemas de drenaje y alcantarillado urbano o municipal.

Límites Máximos Permisibles

Parámetros	Promedio diario	Instantáneo
Temperatura (°C)	-	40°C (313 K)
pH (unidades de pH)	6 a 9	6 a 9
Sólidos sedimentables (ml/L)	5	10
Grasas y aceites (mg/L)	60	100
Conductividad eléctrica (µmho/cm)	5000	8000
Aluminio (mg/L)	10	20
Arsénico (mg/L)	0.5	1.0
Cadmio (mg/L)	0.5	1.0
Cianuros (mg/L)	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	5	10
Cromo hexavalente (mg/L)	0.5	1.0
Cromo total (mg/L)	2.5	5.0
Fluoruros (mg/L)	3	6
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	4	8
Plata (mg/L)	1.0	2.0
Plomo (mg/L)	10	2.0
Zinc (mg/L)	6	12
Fenoles (mg/L)	5	10
Sustancias activas al azul de metileno (mg/L)	30	60

Cuando las autoridades del Distrito Federal estatales o municipales en el ámbito de su competencia identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento con los límites máximos permisibles establecidos por la tabla anterior, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales municipales o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor, podrán fijar condiciones particulares de descarga.

Norma Oficial Mexicana NOM-001-ECOL-1996⁽¹²⁾

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales.

Ríos

Parámetros	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura (°C)	N.A	N.A	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg/L)	15	25	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	150	200	75	125	40	60
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	150	200	75	150	30	60
Nitrógeno total (mg/L)	40	60	40	60	15	25
Fósforo total (mg/L)	20	30	20	30	5	10

P.D = Promedio diario

P.M = Promedio mensual

N.A = No es aplicable

Embalses naturales y artificiales

Parámetros	Uso en riego agrícola		Uso público urbano	
	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura (°C)	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg/L)	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	75	125	40	60
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	75	150	30	60
Nitrógeno total (mg/L)	40	60	15	25
Fósforo total (mg/L)	20	30	5	10

P.D = Promedio diario

P.M = Promedio mensual

N.A = No es aplicable

Aguas costeras

Parámetros	Explotación pesquera, navegación y otros		Recreación		Estuarios	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura (°C)	40	40	40	40	40	40
Grasas y aceites (mg/L)	15	25	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	1	2	1	2	1	2
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	100	175	75	125	75	125
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	100	200	75	150	75	150
Nitrógeno total (mg/L)	N.A	N.A	N.A	N.A	15	25
Fósforo total (mg/L)	N.A	N.A	N.A	N.A	5	10

P.D = Promedio diario

P.M = Promedio mensual

N.A = No es aplicable

Suelo

Parámetros	Uso en riego agrícola		Humedales Naturales	
	P.M	P.D	P.M	P.D
Temperatura (°C)	N.A	N.A	40	40
Grasas y aceites (mg/L)	15	25	15	25
Materia flotante	ausente	ausente	ausente	ausente
Sólidos sedimentables (mL/L)	N.A	N.A	1	2
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	N.A	N.A	75	125
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	N.A	N.A	75	150
Nitrógeno total (mg/L)	N.A	N.A	N.A	N.A
Fósforo total (mg/L)	N.A	N.A	N.A	N.A

P.D = Promedio Diario

P.M = Promedio Mensual

N.A = No es aplicable

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES PARA METALES PESADOS Y CIANUROS

Ríos

Parámetros	Uso en riego agrícola		Uso público urbano		Protección de vida acuática	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cadmio (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2	0.1	0.2
Cianuro (mg/L)	2.0	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	4.0	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo (mg/L)	1	1.5	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel (mg/L)	2	4	2	4	2	4
Plomo (mg/L)	0.5	1	0.2	0.4	0.2	0.4
Zinc (mg/L)	10	20	10	20	10	20

Embalses naturales y artificiales

Parámetros	Uso en riego agrícola		Uso público urbano	
	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2
Cianuro (mg/L)	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	4.0	6.0	4	6.0
Cromo (mg/L)	1	1.5	0.5	1.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02	0.005	0.01
Níquel (mg/L)	2	4	2	4
Plomo (mg/L)	0.5	1	0.2	0.4
Zinc (mg/L)	10	20	10	20

Aguas costeras

Parámetros	Explotación pesquera, navegación y otros		Recreación		Estuarios	
	P.M	P.D	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico (mg/L)	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio (mg/L)	0.1	0.2	0.2	0.4	0.1	0.2
Cianuro (mg/L)	2.0	2.0	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	4	6.0	4.0	6.0	4.0	6.0
Cromo (mg/L)	0.5	1.0	1	1.5	0.5	1.0
Mercurio (mg/L)	0.01	0.02	0.01	0.02	0.01	0.02
Níquel (mg/L)	2	4	2	4	2	4
Plomo (mg/L)	0.2	0.4	0.5	1	0.2	0.4
Zinc (mg/L)	10	20	10	20	10	20

Suelo

Parámetros	Uso en riego agrícola		Humedales naturales	
	P.M	P.D	P.M	P.D
Arsénico (mg/L)	0.2	0.4	0.1	0.2
Cadmio (mg/L)	0.05	0.1	0.1	0.2
Cianuro (mg/L)	2.0	3.0	1.0	2.0
Cobre (mg/L)	4	6.0	4.0	6.0
Cromo (mg/L)	0.5	1.0	0.5	1.0
Mercurio (mg/L)	0.005	0.01	0.005	0.01
Níquel (mg/L)	2	4	2	4
Plomo (mg/L)	5	10	0.2	0.4
Zinc (mg/L)	10	20	10	20

P.D = Promedio diario

P.M = Promedio mensual

Norma Oficial Mexicana NOM-CCA-005-ECOL/1993⁽¹⁴⁾

Esta Norma Oficial Mexicana fue abrogada al entrar el vigor la NOM-001-ECOL-1996

Establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales a cuerpos receptores provenientes de la industria de productos plásticos y polímeros sintéticos.

Parámetros	Promedio diario	Instantáneo
pH (unidades de pH)	6 - 9	6 - 9
Sólidos suspendidos totales (mg/L)	70	84
Grasas y aceites (mg/L)	15	20
Sólidos sedimentables (mL/L)	1.0	1.2
Fluoruros (mg/L)	10	15
Demanda química de oxígeno (mg/L)	200	240
Demanda bioquímica de oxígeno (mg/L)	100	120
Fenoles (mg/L)	0.5	0.75

Límites máximos permisibles de coliformes totales:

Los límites máximos permisibles de coliformes totales medidos como número más probable por cada 100 mL en las descargas de aguas residuales provenientes de la industria de fabricación de productos plásticos y polímeros sintéticos, considerando las aguas de servicios son:

- 1000 como límite promedio diario y 10000 como límite instantáneo en las aguas residuales de los procesos industriales.
- 10000 como límite promedio diario y 20000 como límite instantáneo cuando se permita el escurrimiento libre de las aguas residuales de servicios o su descarga a un cuerpo receptor, mezcladas con las aguas residuales del proceso industrial.
- Sin límite, en el caso de que las aguas residuales de servicios se descarguen separadamente y el procesos para su depuración, prevea su infiltración en terreno, de manera que no cause un efecto adverso en los cuerpos receptores.

Cuando las autoridades del Distrito Federal estatales o municipales en el ámbito de su competencia identifiquen técnicamente que alguna descarga a pesar del cumplimiento con los límites máximos permisibles establecidos por la tabla anterior, causen efectos negativos en las plantas de tratamiento de las aguas residuales

municipales o en la calidad que éstas deben cumplir antes de su vertido al cuerpo receptor, podrán fijar condiciones particulares de descarga.

ANEXO 3

ESTUDIO DE DIFERENTES COMPAÑÍAS DEDICADAS A REALIZAR TRATAMIENTOS SECUNDARIOS

Se investigó cuáles eran las compañías que tenían experiencia en el ramo del tratamiento de aguas y se les solicitó una propuesta de tratamiento secundario utilizando la caracterización de las aguas residuales que se elaboraron para este estudio (tablas 2 a 14).

De esta forma, se obtuvieron dos propuestas, de dos diferentes compañías que para el propósito de este trabajo se les conocerá como:

- Compañía A
- Compañía B

La información que a continuación se muestra, está basada en la información proporcionada por ambas compañías. En el caso de la compañía A, se cuenta con folletos informativos de sus productos y en el caso de la compañía B, la información fue proporcionada por telefacsimilar.

COMPAÑÍA A

La compañía A es una empresa dedicada a tratamientos biológicos de aguas residuales. Consideran que no solamente se deben retirar los compuestos orgánicos, sino también los nutrientes.

Es debido a esto que su propuesta se basa en un tratamiento biológico en donde se tiene un mayor control de la contaminación de forma económica y natural.

Propuesta de la compañía A

La compañía A sugirió un sistema de tratamiento aerobio, puesto que ofrecen mayor versatilidad y son más simples. Para el caso de estas aguas residuales se propusieron dos fuentes de aireación: un mezclador aireador sumergido y un difusor. Los análisis necesarios para llevar a cabo esta propuesta, serán realizados por la compañía una vez que se contraten sus servicios.

MEZCLADOR AIREADOR SUMERGIDO

Este sistema se basa en conseguir una eficiencia de aireación por burbuja fina bajo condiciones de agua limpia.

Estas burbujas pequeñas se mueven rápida y accidentalmente por lo que logran mayor eficiencia. En este sistema se combina la aireación y la agitación del agua, logrando una mezcla homogénea. Esto debido a que en un tratamiento biológico se busca que la oxidación de las sustancias orgánicas y nitrogenadas optimicen la cantidad de aire/oxígeno mientras se suministra un mezclado suficiente para mantener la biomasa en suspensión.

El sistema mezclador tiene un mezclado perfecto y un remezclado sin la presencia de aire.

Las características de este sistema son:

- No se coloca sobre una base.
- Se puede mover en cualquier momento.
- El mantenimiento puede efectuarse sin necesidad de vaciar el depósito.
- No son económicos.

DIFUSOR

En los aireadores con burbujas finas, aire comprimido pasa a través de un disco poroso o una membrana de plástico, creando burbujas finas. La corriente de

burbujas en la parte superior del difusor, hacen que éstas ocasionen un efecto mezclador el cual mantiene la masa biológica en suspensión.

Las características de este sistema son:

- Cuando la aireación necesita una modificación a lo largo del tiempo, los difusores de discos porosos son fácilmente intercambiables por difusores de membrana y viceversa.
- Los difusores pueden ser instalados en todas las tuberías comerciales y las no comerciales.
- Son económicos.

COMPAÑÍA B

Esta compañía se dedica a la construcción e ingeniería de plantas de tratamiento de aguas residuales.

Propuesta de la compañía B

La compañía B, propuso un sistema de tratamiento de aireación extendida o prolongada. Ofrecen una disminución de DBO final con una eficiencia de 90 al 95%.

AIREACIÓN EXTENDIDA O PROLONGADA

En este proceso, las aguas residuales pasan a través de una rejilla que retiene materiales intratables, tales como plásticos y metales, para evitar que se introduzcan a la planta. Las aguas residuales serán introducidas a cámaras de aireación en donde se mezclarán con grandes volúmenes de aire a presión, inyectados por medio de difusores localizados en los fondos de las cámaras.

Los difusores inyectan el aire suficiente para lograr la cantidad de oxígeno necesaria para el proceso aerobio, mezclando el contenido de las cámaras para ponerlo en contacto con el oxígeno del aire inyectado.

Se cuenta con un dispositivo patentado, que evita la obstrucción de las espumas del difusor, mediante una burbuja de aire atrapada, que aísla y protege al difusor del contacto con el agua residual, aún durante los períodos de paro de la planta.

Las bacterias que se encuentran presentes en los lodos activos de las cámaras de aireación utilizan este abundante oxígeno para metabolizar las impurezas disueltas en el agua residual, convirtiéndolas en gases como el dióxido de carbono y

el agua, además de nuevos lodos microbianos (50% de gases y 50% de exceso de lodos).

Las características de este sistema son:

- El tiempo de residencia hidráulico, en el cual permanecerán la agitación y la aireación, deberá ser de 24 horas.
- La producción de lodos es mínima.
- La planta puede soportar sobrecargas sin sufrir descontrol.

Al abandonar las cámaras de aireación, el agua es retenida en cámaras de sedimentación, en la que se permite el asentamiento de partículas. En estas cámaras, el líquido permanece en reposo por aproximadamente 4 horas, en donde se precipitan en los fondos la mayor parte de los sólidos en suspensión. Esta etapa de sedimentación produce agua clara e incolora.

Las cámaras de sedimentación cuentan con mamparas a la entrada y salida para evitar cortos circuitos hidráulicos y confinar los sólidos flotantes lejos del vertedero del efluente tratado.

El equipo propuesto para esta planta biológica es:

1. Una rejilla para retención de sólidos grandes.
2. Sistema de aireación por burbuja fina, con motor de 1 HP
3. Dos silenciadores, uno a la entrada y otro en la descarga del soplador.
4. Tablero de control eléctrico integrado, con programador de arranque-paro automático.
5. Sistema de difusores de aire montados en sus cabezales.
6. Desnatador neumático de superficie.
7. Lote de tubería, accesorios, válvulas y conexiones.

DISCUSIÓN SOBRE LAS PROPUESTAS

A partir de la información proporcionada de la caracterización de las aguas residuales tratadas, las compañías A y B sugieren sistemas de tratamiento biológico aerobio, en donde se asegura que se va a obtener un sistema perfectamente mezclado, económico y con una disminución de la DBO final mayor al 90%.

Cabe señalar que, de acuerdo a la tabla 12, se encuentran grandes cantidades de material no biodegradable y, por tanto, un sistema de tratamiento secundario

aerobio no es el mas adecuado, puesto que estos son utilizados cuando las cargas orgánicas no son muy elevadas.

Las dos compañías consultadas, proponen hacer sus estudios de biodegradabilidad después de contratar la venta de sus equipos, lo cual se considera incorrecto, puesto que es necesario que estos análisis sean realizados antes de seleccionar cualquier tipo de tratamiento.

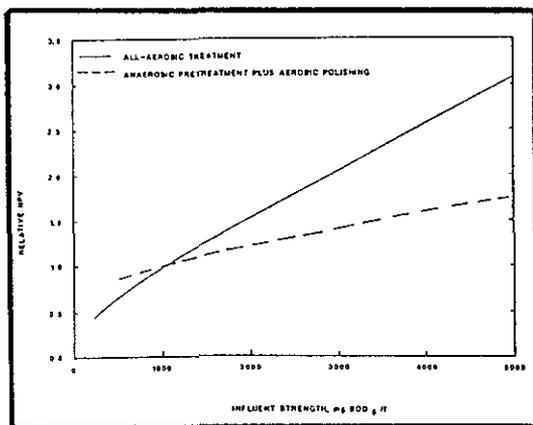
Además, se puede concluir que las compañías A y B se dedican a la instalación, diseño o fabricación de equipos, pero no se encuentran capacitadas para sugerir un sistema de tratamiento de aguas residuales, ya que sin realizar esos estudios de biodegradabilidad es imposible ofrecer opciones viables.

Esto resulta muy claro a la luz de un artículo publicado hace ya casi diez años⁽³⁶⁾.

En él puede observarse que los costos para remover el material disuelto de un agua residual se incrementan enormemente cuando el contenido de materia disuelta se va aumentando, como se muestra en la gráfica 19.

GRÁFICA 19

Comparación de costos para los sistemas de tratamiento aerobios y el sistema combinado anaerobio-aerobio⁽³⁶⁾



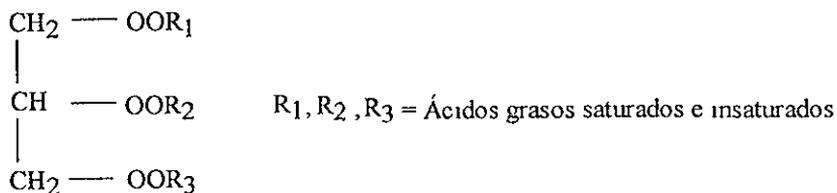
ANEXO 4

TOXICIDADES

A continuación se describe la información toxicológica y el manejo de las sustancias más utilizadas en el presente trabajo.

Es necesario aclarar que con respecto a los valores límite, se maneja un término conocido como OES (por sus siglas en inglés) la cual es la concentración promedio en el aire de una sustancia (usualmente 8 horas en período largo o 10 minutos en período corto) a la cual de acuerdo con el conocimiento adquirido, no hay evidencia de que sea peligrosa para los empleados si éstos están expuestos a inhalación, un día después a esa concentración.

1. Aceite de soya^(6,7)



Aceite de color amarillento con olor característico; densidad entre 0.916-0.922; punto de flama de 282°C; temperatura de ignición 445°C; miscible en alcohol, éter, cloroformo y disulfuro de carbono.

Efectos tóxicos

No es tóxico, pero por higiene industrial evitar el contacto con la piel, ojos y ropa.

Primeros auxilios

Al contacto con la piel lavar con agua y jabón; al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos; en caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco; en caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche. Llamar al médico en casos urgentes.

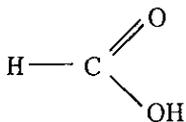
Incendio

Utilizar extintor de agua.

Almacenamiento

No mezclar este producto con ácidos, álcalis fuertes o agua oxigenada; almacenar en tanques a temperatura ambiente.

2. Ácido fórmico^(6, 7)



Líquido incoloro, con olor irritante; punto de fusión 8.4°C; punto de ebullición 100.5°C; miscible en agua.

Valores límite

OES periodo largo 5 ppm (9 mg/m³).

Efectos tóxicos

El vapor irrita todas las partes del sistema respiratorio. El vapor irrita los ojos y el líquido puede causar dolorosas quemaduras en los ojos. El líquido quema la piel. Si es ingerido se puede ocasionar una irritación interna severa y daño.

Reacciones peligrosas

Los contenedores fuertemente sellados pueden arder debido a la presión del monóxido de carbono producido por la descomposición lenta en el almacenaje o congelamiento a bajas temperaturas. Descomposición explosiva en níquel.

Primeros auxilios

Al contacto con la piel lavar inmediatamente con agua y solución de carbonato de sodio; al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos; en caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco; en caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche. Llamar al médico en casos urgentes.

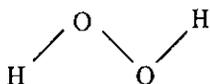
Incendio

Punto de flama al 90% en solución 69°C; los vapores de ácido fórmico al 90% en solución explotan cuando se alcanza una concentración del 18 al 57%; temperatura de autoignición 601°C. Utilizar esparsores de agua a presión, dióxido de carbono, polvo químico o espuma de alcohol.

Almacenamiento

Producto tóxico y corrosivo por ingestión e inhalación, evitar el contacto con piel, ojos y ropa.

3. Peróxido de hidrógeno^(6,7)



Líquido incoloro, pesado con sabor amargo; punto de fusión -0.4°C; punto de ebullición 152°C; miscible en agua.

Valores límites

OES período corto 2 ppm (3 mg/m^3); período largo 1 ppm (1.5 mg/m^3).

Efectos tóxicos

El peróxido de hidrógeno, especialmente en altas concentraciones, es irritante y cáustico para las membranas mucosas, ojos y piel. Si es ingerido, la rápida evolución del oxígeno puede causar daños por distensión aguda del estómago y puede causar náuseas, vómito y sangrado interno.

Reacciones peligrosas

Las reacciones peligrosas desde la ignición hasta la explosión se registran con muchas sustancias.

Primeros auxilios

Al contacto con la piel lavar inmediatamente con agua y solución de carbonato de sodio; al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos; en

caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco; en caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche. Llamar al médico en casos urgentes.

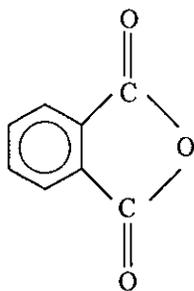
Incendio

Utilizar espasores de agua a presión para extinguir los fuegos.

Almacenamiento

Producto tóxico, corrosivo y oxidante al contacto con la piel, ojos y ropa

4. Anhídrido ftálico^(6,7)



Cristales filosos de color blanco; punto de fusión 131°C; se disuelve en agua caliente formando ácido ftálico.

Valores límites

OES período corto 4 ppm (24 mg/m³) bajo revisión; período largo 1 ppm (6 mg/m³) bajo revisión.

Efectos tóxicos

El polvo irrita los ojos, la piel, y el sistema respiratorio. Se tienen numerosos síntomas de lesiones en el tracto respiratorio, incluyendo sensibilización pulmonar después de su inhalación. Puede causar irritación interna si es ingerido.

Primeros auxilios

Al contacto con la piel lavar inmediatamente con agua y solución de carbonato de sodio; al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos; en caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco; en caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche. Llamar al médico en casos urgentes.

Incendio

Utilizar extintores con agua, dióxido de carbono, polvo químico seco o espuma.

caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco; en caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche. Llamar al médico en casos urgentes.

Incendio

Utilizar extintores de agua en caso de incendio.

Almacenamiento

Producto tóxico por ingestión e inhalación, evitar el contacto con la piel, ojos y ropa.

6. Hidróxido de sodio^(6, 7)

NaOH

Hojuelas incoloras, bastones, polvo o pastillas; punto de fusión 318.4°C; punto de ebullición 1390°C; soluble en agua.

Valores límites

OES período corto 2 mg/m³

Efectos tóxicos

El sólido y las soluciones fuertes son irritantes y corrosivos en todos los tejidos y pueden causar severas quemaduras en los ojos y en la piel. Si es ingerido puede causar severas irritaciones y daños internos. La inhalación del polvo puede causar irritación y daño en el tracto respiratorio.

Reacciones peligrosas

Ocasiona reacciones exotérmicas con cantidades limitadas de agua; reacciona vigorosamente con cloroformo/metanol; se puede ocasionar una explosión cuando es calentado con circonio.

Primeros auxilios

Al contacto con la piel lavar inmediatamente con agua y solución de carbonato de sodio; al contacto con los ojos lavar con agua durante 15 minutos; en caso de inhalación alejarse del lugar y respirar aire fresco; en caso de ingestión tomar 2 vasos de agua o leche. Llamar al médico en casos urgentes.

Incendio

Se puede utilizar agua para extinguir los incendios en una área en donde el hidróxido de sodio es almacenado, siempre y cuando el agua no esté en contacto con el material mismo.

Almacenamiento

Producto tóxico y corrosivo por ingestión e inhalación, evitar el contacto con piel, ojos y ropa.