



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

**TRATAMIENTO DEL AGUA DE DESECHO
EN UNA PLANTA DE PINTURAS
EMULSIONADAS**

**TRABAJO ESCRITO VIA CURSOS
DE EDUCACION CONTINUA
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:
INGENIERO QUIMICO
P R E S E N T A :
JAQUELINA CAMACHO CACERES**



CIUDAD UNIVERSITARIA, D. F.,



2004.

EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO:

Presidente Prof. ALEJANDRO ÍÑIGUEZ HERNÁNDEZ

Vocal Profra. IRMA CRUZ GAVILÁN GARCÍA

Secretario Prof. FRANCISCO JAVIER GARFIAS VÁSQUEZ

1er suplente Profra. MARGARITA ROSA GARFIAS VÁSQUEZ

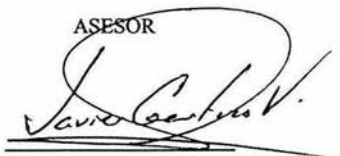
2do. suplente Profra. SARA ELVIA MEZA GALINDO

SITIO EN QUE SE DESARROLLO EL TEMA:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

ASESOR



Dr. Francisco Javier Garfias Vázquez

SUSTENTANTE



Jaquelina Camacho Cáceres

A MIS PADRES:

**POR LA VIDA, POR EL CARÍÑO, POR CADA EJEMPLO,
POR TANTAS COSAS...**

GRACIAS. POR USTEDES HOY SOY LO QUE SOY.

A MIS HERMANOS:

**GRACIAS POR DEJARME SER COMO SOY SIN QUERERME
CAMBIAR
POR APOYARME SIEMPRE.**

A JAIME:

**GRACIAS POR ESTAR CADA MOMENTO
PARA NO DEJARME CAER.**

MONSERRAT:

**SOY POR TI Y PARA TI
SIEMPRE SERÉ POR TI Y PARA TI**

TIO JUAN:

**GRACIAS POR HABER DECIDIDO
MI RUMBO CON TAN BUEN DESTINO.**

A MIS AMIGOS:

**GRACIAS POR SER APOYO , COMPAÑÍA Y A VECES HASTA
MIS MAESTROS, PERO ESPECIALMENTE
POR SER COMO MIS HERMANOS.**

A MIS MAESTROS:

**GRACIAS POR SER INSPIRACIÓN Y EJEMPLO.
POR DARME TANTO DE USTEDES
SIN PEDIR NADA A CAMBIO.**

ÍNDICE

	PÁGINA
1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 Contaminación del agua.....	4
1.2 La industria de las pinturas	5
2. INFORMACIÓN GENERAL.....	6
2.1 La industria de las pinturas y sus materias primas.....	6
2.1.1 Las cargas.....	6
2.1.2 Las resinas.....	6
2.1.3 Los pigmentos.....	7
2.1.4 Los disolventes.....	7
2.1.5 Los aditivos.....	8
2.2 Las pinturas en base agua	8
2.3 Fuentes de contaminación del agua	10
2.3 Marco legal	12
2.4 Las tres R	14
2.5 Los métodos de tratamiento	14
2.5.1 Procesos físicos.....	14
2.5.2 Procesos químicos.....	18
2.5.3 Procesos biológicos.....	19
3. DISCUSIÓN	21
4. CONCLUSIONES	25
5. BIBLIOGRAFÍA	27
6. PÁGINAS WEB	28
APÉNDICE.....	30

**TRATAMIENTO DEL AGUA DE DESECHO EN UNA
PLANTA DE PINTURAS EMULSIONADAS**

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contaminación del agua

En los últimos años se le ha dado un gran énfasis a la escasez de agua. Este recurso natural es parte de un delicado equilibrio, que a lo largo de la historia, el ser humano ha violentado, agregando al agua toda clase de contaminantes. Por lo que no es posible regresarla a su medio, pues terminaría por contaminar toda el agua dulce.

Por esto, al paso del tiempo, finalmente los seres humanos nos hemos dado cuenta de la manera en que hemos afectado este equilibrio y no nos ha quedado más remedio que buscar la manera de limpiar el agua. Además de comenzar a formar una cultura del agua en las personas (especialmente en los más jóvenes) para utilizar este recurso racionalmente, pues en los últimos años ha disminuido drásticamente la cantidad de agua de los mantos freáticos. Llegando al grado de tener que “inyectar” agua en los mismos, tratando de solucionar así parte del gran daño que le hemos ocasionado al planeta.

Debido a toda esta situación, nos hemos visto en la necesidad de legislar al respecto. En nuestro país, desde hace ya varios años, existen una serie de normas ecológicas realizadas y verificadas por SEMARNAT que a través de sus órganos desconcentrados como el Instituto Nacional de Ecología (INE) y la Procuraduría Federal de Protección al Ambiente (PROFEPA), vigilan el cumplimiento en todo el territorio nacional.

En la industria mexicana difícilmente se visualiza esta problemática de la misma manera, y solo se limita a cumplir con la normatividad vigente. Y de esta manera el gobierno ha logrado que sea obligatorio hacerlo, no solo al menor precio posible, si no de la manera más eficiente. Además, tratando de ir siempre más allá de la legislación, para no hacerse acreedores a una sanción y a la vez darle un valor agregado a las empresas.

Con esto en mente y visualizando que en el futuro la legislación tiende a ser cada vez más estricta y a sugerir que se empleen métodos mecánicos o físicos de separación, en lugar de químicos, hay que pensar en cambiar los métodos actuales.

Por esto, el objetivo de este trabajo es presentar varias alternativas de tratamiento de agua residual proveniente de una planta de pinturas emulsionadas. Todo esto con la finalidad de encontrar opciones de tratamiento que no nos limiten a futuro.

1.2 La industria de las pinturas

La industria de las pinturas elabora diversos productos que podemos clasificar como: pinturas en base agua y base disolvente (existen varios tipos). El disolvente es lo que se evaporará al final de su aplicación. Existe también otro tipo de pintura que no contiene un disolvente, tal como son los recubrimientos en polvo. Las pinturas se pueden clasificar también de acuerdo a su uso, industrial y decorativo (arquitectónico, uso doméstico).

En la industria de las pinturas se produce contaminación en el agua durante la producción de pinturas emulsionadas, por que precisamente utilizan esta misma como disolvente.

Actualmente en la industria de las pinturas el método más empleado para tratar los efluentes contaminados es la COAGULACIÓN – FLOCULACIÓN. Sin embargo, debido a las necesidades futuras provenientes de un cambio de legislación nos vemos en la necesidad de buscar otras alternativas.

2. INFORMACIÓN GENERAL

2.1 La industria de las pinturas y sus materias primas

Los materiales utilizados en la elaboración de las pinturas emulsionadas pueden agruparse de la siguiente manera:

- Cargas
- Resinas
- Pigmentos
- Disolventes
- Aditivos

2.1.1 Las cargas

Las cargas son sustancias de origen mineral que contribuyen a extender el pigmento, a aportar cubrimiento, así como cuerpo a una pintura. Las cargas son caolines, sílice, talcos, micas, carbonatos, etc.

2.1.2 Las resinas

Las resinas son sustancias que le brindan protección y resistencia a la pintura contra el agua, las radiaciones del sol, así como al tráfico (ya sea tocándolas o pisándolas). Estas se emplean en emulsión, dándoles así nombre a las pinturas EMULSIONADAS. Las resinas pueden ser naturales y sintéticas. Las resinas sintéticas pueden ser de tipo acrílicas y vinílicas aunque también se usan algunas otras como se puede ver en la tabla 1.

2.1.3 Los pigmentos

Los pigmentos son las sustancias que proveen el color a las pinturas. También brindan un mayor poder cubriente, es decir, evitan que la pintura se vea transparente.

Algunos pigmentos contribuyen a las propiedades anticorrosivas. Por ser óxidos metálicos contribuyen a la formación de películas pasivas que impiden la corrosión, pero estas no siempre son muy eficientes.

Son compuestos variados que pueden ser orgánicos o inorgánicos y están hechos en base a cromo, zinc, diversos óxidos de hierro, bióxido de titanio, etc. En general son óxidos metálicos por la coloración natural que estos poseen.

Algunos pigmentos contribuyen a la resistencia al medio ambiente, específicamente a la luz solar, ya que no se decoloran.

Hay pigmentos en polvo y también los encontramos como bases coloreadas, en estas el pigmento ya viene molido y es una pasta que se dispersa fácilmente. El más utilizado de todos es el bióxido de titanio (prácticamente todas las pinturas lo llevan).

2.1.4 Los disolventes

En la industria de las pinturas se emplean diversos disolventes, todos ellos son sustancias orgánicas con excepción del agua, que en este caso es la que nos interesa, pues en las pinturas emulsionadas solo se utiliza el agua como disolvente. La importancia del disolvente es mucha. El agua es la sustancia de mayor porcentaje dentro de una pintura, y su contenido va desde el 45% hasta el 65% en peso.

2.1.5 Los aditivos

Los aditivos son sustancias añadidas en mínimas cantidades (representan del 0.1% al 3% en peso) y desempeñan la función de mejorar la dispersión, minimizar la cantidad de espuma, mantener estable la emulsión, y disminuir o extender el tiempo de secado.

Casi todos los aditivos son tensoactivos y por eso pueden variar las propiedades antes mencionadas. Sin embargo en este grupo de materias primas también encontramos a los biocidas, que impiden la formación de microorganismos en las pinturas.

También se emplean sustancias como los espesantes y el amoníaco que contribuyen a dar una viscosidad o un pH deseados.

2.2 Las pinturas en base agua

El proceso de producción de las pinturas en base agua se reduce al realizar varias premezclas de algunos componentes como son agua, dispersantes, amoníaco, y cargas. Estas sustancias se agregan en un tanque y se agitan hasta quedar homogéneas, Estas premezclas o productos intermedios (son 9 diferentes, también conocidos como slurrys) son enviadas a un tanque de almacenamiento diferente para cada uno en los que son agitados y recirculados para evitar sedimentaciones. Algunos otros productos no se dispersan de esta manera y se mandan a un molino. De ahí los componentes pasan por un sistema automático a un tanque de completado y se le agrega nuevamente agua, resinas, amoníaco, espesantes y algunos otros aditivos, así como las bases coloreadas en caso de ser pintura de color, (hay algunas pinturas que se muelen directamente con los pigmentos en polvo).

Después de pasar a control de calidad y al laboratorio de color (si es necesario) las pinturas son filtradas y envasadas en recipientes los cuales son etiquetados y almacenados para su distribución final.

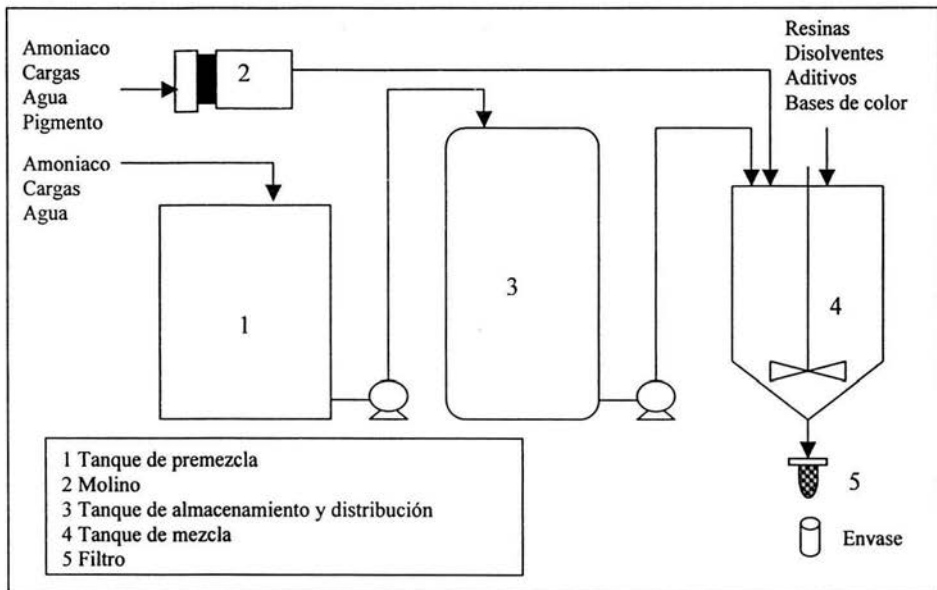


Figura 1. Diagrama de proceso de una compañía mexicana de fabricación de pinturas en base agua.
(Elaboración propia)

Las pinturas en base agua se pueden clasificar de diferente manera, sin embargo, se considera más práctico clasificarlas en función del tipo de resina o vehículo sólido que contienen como se puede ver en la tabla 1. El vehículo sólido permanecerá después de que el disolvente se evapore y es el que le dará consistencia a la película formada.

Tabla 1. Pinturas en base agua

Tipo de pintura	Vehículo sólido	Disolvente	Usos
Vinílica	Acetato de polivinilo	Agua	Decoración de interiores y exteriores
Acrílica	Acrilatos	Agua	Decoración, madera, interiores y exteriores (más resistentes).
Vinil – Acrílica	Copolimeros de Acrilatos y acetato de vinilo	Agua	Decoración de interiores y exteriores
Alquidáticas	Alquidales	Agua + aminas	Decoración, madera, interiores y exteriores industrial, directo a metal.
Estiren-acríticas	Copolimeros Estireno - acrilatos	Agua	Impermeabilizar (son más resistentes al exterior, pero no se pueden mezclar con otras pinturas).

(Elaboración propia)

2.3 Fuentes de contaminación del agua

En una planta de pintura emulsionada la fuente principal de contaminación del agua proviene del lavado de los tanques de elaboración de pintura de color, ya que el agua de lavado de los tanques de pintura blanca y base incolora es directamente captada y reincorporada a algún otro lote de pintura del mismo tipo (base o blanca). Sin embargo, la producción de pintura de colores no es continua (de un mismo color) como para poder integrar esta agua nuevamente al proceso, por lo que se hace necesario captarla y darle un tratamiento para poder eliminarla o reutilizarla.

La cantidad de residuos generados va a depender del ritmo de producción y de la estacionalidad, además del tamaño del tanque que se lave. Para fines prácticos vamos a considerar un volumen promedio de 15,000 litros a la semana.

Otra fuente generadora de residuos es el agua de lavado de instrumental contaminado con pintura en el laboratorio. Esta agua es captada en cubetas y separada para su desecho. Se genera un volumen aproximado de 1,000 litros semanales.

El agua de lavado de equipo como molinos y otros utensilios es también una fuente generadora de residuos.

El volumen total, considerando el agua de lavado de los tanques y equipo, y el agua de laboratorio es de 16,000 litros de agua contaminada a la semana.

2.3 Marco legal

En México todos, incluyendo a la industria, tenemos que apegarnos a la Ley Federal de Equilibrio Ecológico y de Protección al Medio Ambiente. En esta legislación, encontramos la normatividad ecológica que nos dicta las características que debe tener el agua residual dependiendo de su uso. En este caso emplearemos como parámetro las normas NOM - 002 – ECOL – 1996 y NOM - 003 – ECOL – 1997 para desecho en alcantarillas y reuso del agua respectivamente. En las tablas 2, 3 y 4 se muestran los parámetros y sus límites con los que hay que cumplir.

Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminantes - 1, NOM - 002 – ECOL – 1996 **

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES			
PARÁMETROS (mg /L, excepto cuando se especifique otra)	Promedio mensual	Promedio diario	Instantáneo
Grasas y aceites	50	75	100
Sólidos sedimentables (mL / L)	5	7.5	10
Arsénico total	0.5	0.75	1
Cadmio total	0.5	0.75	1
Cianuro total	1	1.5	2
Cobre total	10	15	20
Cromo hexavalente	0.5	0.75	1
Mercurio total	0.01	0.015	0.02
Niquel total	4	6	8
Plomo total	1	1.5	2
Zinc total	6	9	12

* Para consultar referencias ver bibliografía

Tabla 3. Límites máximos permisibles de contaminantes - 2, NOM – 001 – ECOL - 1996^b

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES	
CONTAMINANTE	VALOR
DBO mg/L	150
Temperatura (°C)	40
pH	5 - 10
Materia flotante	Ausente
Sólidos suspendidos totales mg/L	125

Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes, NOM - 003 – ECOL – 1997^c

LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES					
TIPO DE REUSO	Promedio mensual				
	Coniformes fecales NMP/100 mL	Huevos de helminto	Grasas y aceites	DBO₅ mg/l.	SST mg/l
Servicios al público con contacto directo	240	1	15	20	20
Servicios al público con contacto indirecto u ocasional	1,000	5	15	30	30

Por otro lado también nos interesa la NOM – 052 – ECOL- 1993 correspondiente a residuos peligrosos, la cual nos indica explícitamente que todos los agentes limpiadores y lodos generados por el tratamiento (cualquiera que sea) de aguas residuales de la producción de pinturas en base agua son considerados residuos peligrosos por ser del tipo CRETIB (Corrosivo, Reactivo, Explosivo, Tóxico, Inflamable y Biológico infeccioso), específicamente por ser Tóxico^d.

2.4 Las tres R

Desde hace varios años se ha estudiado la metodología para un mejor manejo de residuos, sean del tipo que sean. Este concepto es llamado las tres R y consiste en **reducir, reusar y reciclar**¹. Al emplear esto como filosofía en la empresa podemos lograr una disminución importante en las fuentes de contaminación, así como en la generación de residuos con solo concientizar a la gente y cambiar las prácticas de manufactura y no los procesos completos.

En este trabajo se darán algunas recomendaciones de este tipo.

2.5 Los métodos de tratamiento

Una vez establecidos los objetivos de tratamiento de acuerdo a la legislación vigente, el grado de tratamiento necesario puede determinarse comparando las características del agua residual cruda con las exigencias del efluente correspondiente. Parece conveniente hacer una revisión de la clasificación de los diferentes métodos empleados para el tratamiento del agua residual.

Los contaminantes presentes en el agua residual pueden eliminarse con procesos físicos, químicos y/o biológicos.

2.5.1 Procesos físicos

Los procesos físicos son aquellos en los que predomina la acción de las fuerzas físicas. La mayoría de estos han evolucionado directamente a partir de las primeras observaciones de la naturaleza. Y fueron los primeros en ser aplicados al tratamiento de las aguas residuales. El cribado o desbaste, la sedimentación, la flotación, la filtración y la filtración avanzada o los procesos de membrana son procesos físicos típicos.

El **cribado o desbaste** consiste en pasar el agua a través de una malla o rejilla la cual le quita las partículas muy grandes como pueden ser trozos de madera, hojas, piedras, etc. La figura 2 muestra este proceso físico.

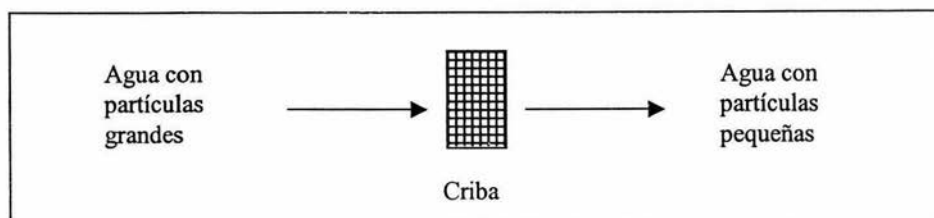


Figura 2. Cribado o desbaste

La **sedimentación** es el depósito por gravedad, en el fondo de un contenedor, de las partículas sedimentables (ver figura 3).

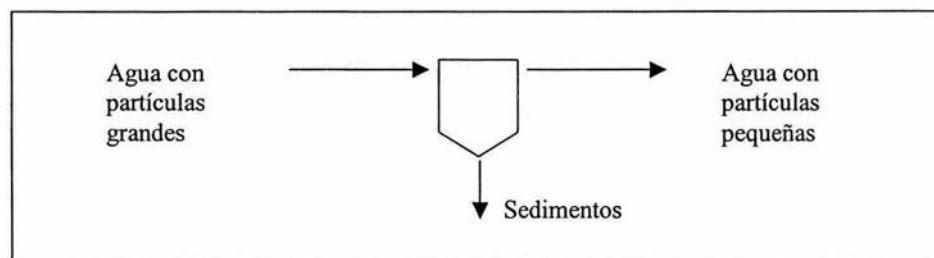


Figura 3. Sedimentador

La **flotación** es el proceso por el cual se separan las partículas por medio de inyección de aire para mover las partículas a la parte superior de un tanque y así separarlas.

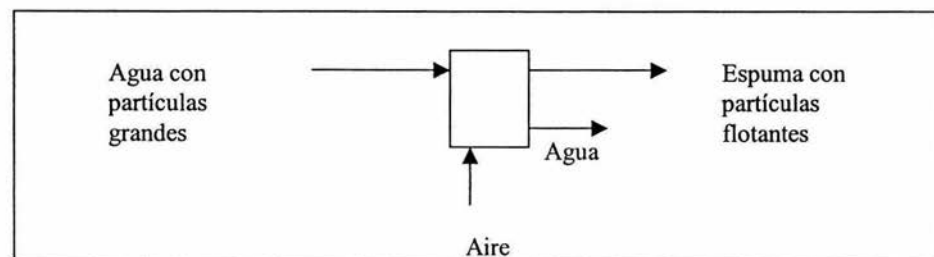


Figura 4. Flotación

La **floculación** es la coalición de partículas por medio de un agitado vigoroso mediante un mezclador que incorpora el floculante al cuerpo de agua, produciendo sólidos sedimentables a partir de una alta concentración de partículas coloidales. Para producir el crecimiento de los flóculos se utiliza un agitador de velocidad variable. Debido a la naturaleza esponjosa de las partículas del flóculo, estas tienen un área superficial muy grande y son capaces de la adsorción de la materia disuelta en solución. El floculante puede ser un polímero catiónico o aniónico (ver figura 5).

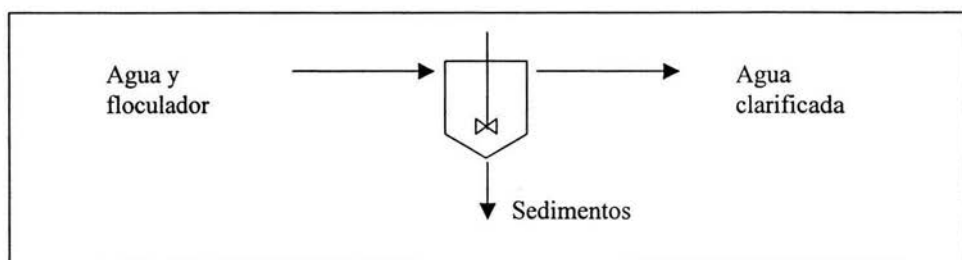


Figura 5. Floculador

La **filtración avanzada** se divide en:

- filtros normales y de cartucho, y
- procesos de membrana.

Los **filtros normales** y los **de cartucho** funcionan de la misma forma. El proceso consiste en pasar un fluido a través de un medio filtrante (arena, grava, antracita, papel filtrante, carbón activado, etc.) que permitirá el paso de algunas partículas y de otras no. Incluido en estos procesos se encuentran los filtros de carbón activado en los que ocurre el fenómeno de adsorción por medio del cual se pueden eliminar sustancias tales como pigmentos (ver figura 6).

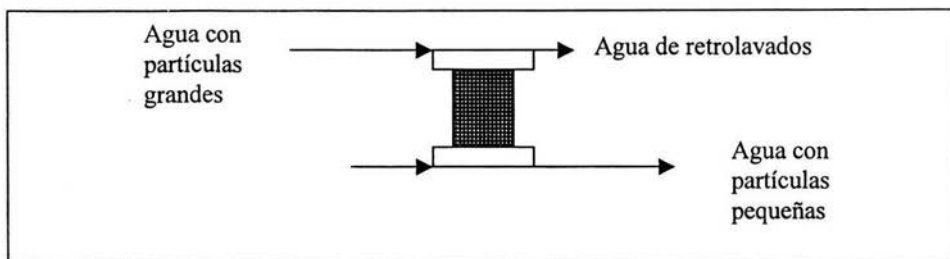


Figura 6. Filtración

Los **procesos de membrana** consisten en la colocación de dos fluidos con una membrana, la cual actúa como barrera permitiendo que pasen selectivamente iones o moléculas de un lado a otro ayudadas por presión (osmosis inversa) o por presión osmótica (osmosis)² (ver figura 7).

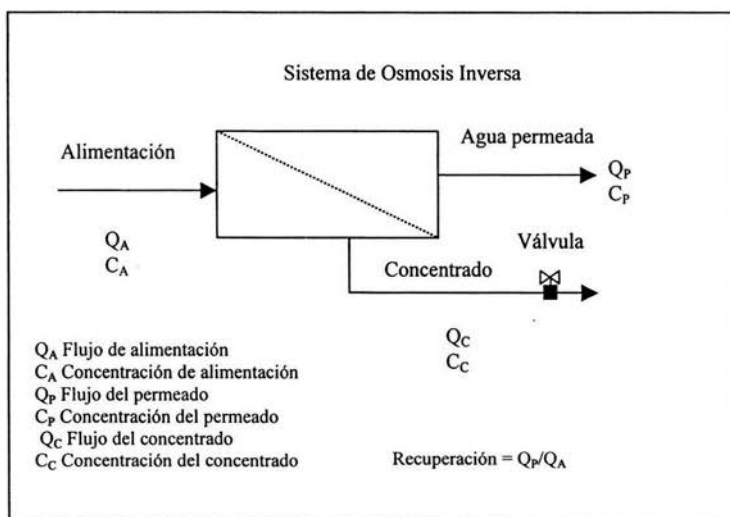


Figura 7. Sistema de osmosis inversa³

Existen básicamente cuatro tipos de procesos de membranas que emplean presión (existen membranas que utilizan potencial eléctrico), todos funcionan bajo el principio de la osmosis inversa, sin embargo, para fines prácticos se ha dividido de acuerdo al tamaño de partículas que remueven y de acuerdo a la presión que

utilizan durante el proceso. Esta clasificación, (en la cual se han incluido los filtros normales y de cartucho), se muestra en la tabla 5:

Tabla 5. Tipos de procesos de membrana^{4y5}

	Rango de partículas que remueve	Rango de presión
Filtración multicapa	>100 μm	
Filtración cartuchos	>1 μm	
Filtración sobre precapa	>0.5 μm	
Microfiltración (MF)	>0.1 μm	<70 kPa
Ultrafiltración (UF)	>0.01 μm	100 a 500 kPa
Nanofiltración (NF)	0.001 – 0.01	500 a 1,400 kPa
Osmosis inversa (OI)	0.0001 a 0.001 μm	1,400 a 8,300 kPa

2.5.2 Procesos químicos

Son los procesos en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue con la adición de productos químicos o gracias al desarrollo de ciertas reacciones químicas. Fenómenos como la precipitación, coagulación, y desinfección son ejemplos de los procesos de aplicación más común en el tratamiento de las aguas residuales.

La **precipitación** es el proceso por medio del cual, al agregar una sustancia y reaccionar con las sales disueltas en el agua se forma otra sal diferente insoluble en el agua, la cual se precipita al fondo del recipiente.

En una **coagulación** el agua residual se recolecta en un tanque en el que se adiciona el coagulante con agitación. El coagulante es una sal metálica que reacciona con la alcalinidad del agua para producir un coagulo (es una especie de

aglomeración partículas) insoluble del hidróxido del metal que se agregó a las partículas coloidales.

La **desinfección** es un proceso en el cual se añaden sustancias como hipoclorito de sodio (NaClO) u ozono (O_3) los cuales realizan una oxidación eliminando microorganismos contenidos en el agua, además de blanquear por la misma oxidación.

2.5.3 Procesos biológicos

Son llamados así los procesos de tratamiento en los cuales la eliminación o conversión de los contaminantes se consigue gracias a la actividad biológica. La principal aplicación es la eliminación de las sustancias orgánicas biodegradables. Estas sustancias están presentes en el agua residual en forma, tanto coloidal, como en disolución. Básicamente, estas sustancias se convierten en gases, que se liberan a la atmósfera, y en tejido celular biológico, eliminable por sedimentación. También se emplean para eliminar nitrógeno contenido en el agua residual. Los procesos más comunes son los lodos activados (figura 8 a), los biodiscos (figura 8 b), y actualmente los biorreactores. Todos estos procesos aprovechan la digestión de microorganismos específicos que consumen la materia orgánica presente en el agua residual. La diferencia entre los lodos activados y los biodiscos radica en la forma en que obtienen oxígeno para los microorganismos. Mientras que los lodos activados requieren una agitación para obtener oxígeno, los biodiscos lo obtienen durante su rotación.

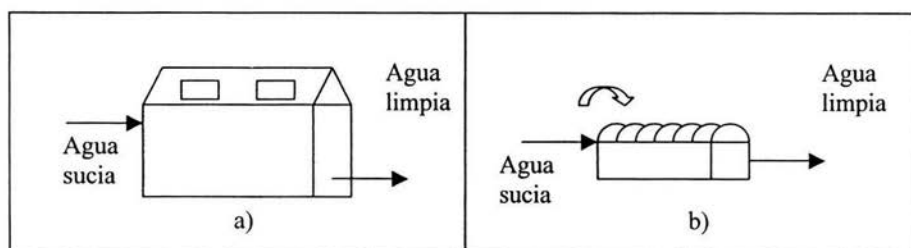


Figura 8. a) Sistema de lodos activados b) Sistema de biodiscos

Como en general las aguas de la industria de pinturas no contienen una demanda bioquímica de oxígeno (DBO) muy superior a la demanda química de oxígeno (DQO) estos procesos no son los más apropiados para el tratamiento de las aguas residuales.

Cabe definir la DBO y la DQO como:

Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO: Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica susceptible de oxidación en una muestra de agua residual y se expresa en mg de O_2/mL .

Demanda Química de Oxígeno, DQO: Es la cantidad de oxígeno necesaria para oxidar toda la materia orgánica e inorgánica susceptible de oxidación en una muestra de agua residual y se expresa en mg de O_2/mL .

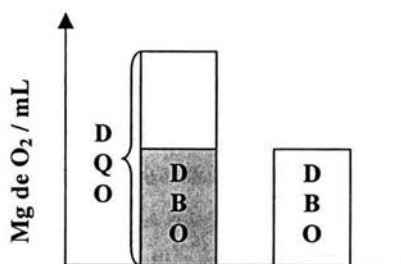


Figura 9. Comparación de la DBO con la DQO

Como se muestra en la figura 9 la DQO siempre es mayor a la DBO ya que es la suma del consumo biológico y del consumo químico de oxígeno.

3. DISCUSIÓN

Hasta ahora en una industria de pinturas y pigmentos en general ha utilizado como medio de tratamiento el sistema que se muestra en la figura 10.

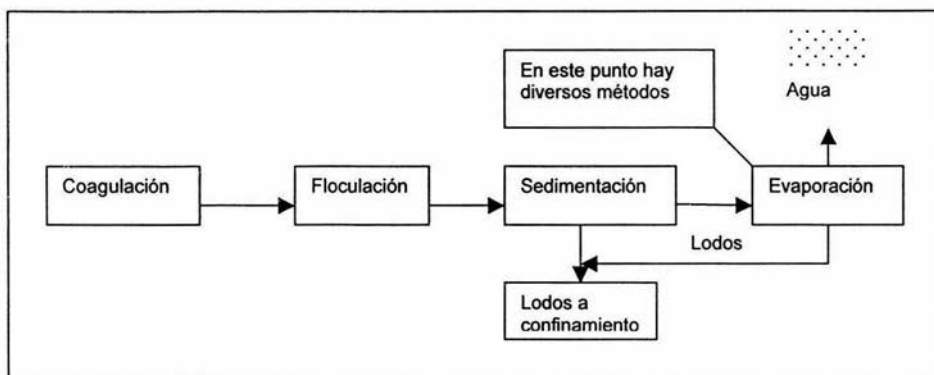


Figura 10. Metodología de tratamiento de aguas residuales de una industria de pinturas.

Como se muestra en la figura 10, lo primero que se puede y se debe variar en el proceso de tratamiento de aguas residuales de una industria de pinturas es la operación de evaporación, ya que no se está recuperando el agua, solo se envía al ambiente.

Otra propuesta para modificar y mejorar el proceso es cambiar la coagulación – floculación – sedimentación por un tren de tratamiento que nos permita eliminar el uso de reactivos químicos, ya que representan altos costos de operación y una gran generación de residuos tóxicos.

Para proponer un tren de tratamiento para las aguas residuales generadas en una industria de pinturas, primero hay que conocer las características del agua y de que calidad final se quiere.

Las partículas contaminantes en el agua de lavado de tanques de pinturas emulsionadas son de 12 μm como máximo y la concentración de sólidos es del orden del 3%. Es decir que en 1 kg de agua residual solo 30 g son sólidos y en la práctica, esta cifra puede llegar hasta el 8% como máximo.

Los contaminantes típicos del agua de lavado de los tanques de una planta de pinturas emulsionadas se enlistan en la tabla 6.

Tabla 6. Contaminantes típicos de los residuos líquidos en la industria de pinturas^{fy6}

PARÁMETROS	Agua residual mg / L	Valores esperados después del tratamiento mg / L ^{a, b, y} _c
Contaminantes convencionales		
DBO	2000 - 4000	150
SST	2800 - 4800	125
Grasas y aceites	100 - 200	75
Coliformes	0 - 10 (nmp/100mL)	240
Contaminantes Tóxicos Inorgánicos		
Ti	1000 - 2000	N. A.
Cr	0 - 50	0.75
Cu	0.5 - 5	15
Cn	0 - 1	1
Pb	0 - 50	1
Hg	0 - 1	0.01
Ni	0 - 0.5	6
Zn	0.07 - 5	9
Contaminantes Tóxicos Orgánicos		
Benzeno	0 - 15	0.5
Fenol	0 - 15	14.4
Tolueno	0 - 15	14.4

Para seleccionar cualquier tipo de tratamiento debemos ver que eficiencia tiene para limpiar los contaminantes presentes en nuestra agua. Para poder definir globalmente que tratamiento nos conviene debemos referirnos a la tabla 7. Esta tabla nos muestra para diversos tipos de tratamiento la eficiencia de remoción de algunos contaminantes.

Tabla 7. Procesos y operaciones unitarias empleados en la recuperación del agua residual y potencial de eliminación de contaminantes¹⁰

Constituyentes del agua a tratar	Sistemas de tratamiento de aguas					
	Coagulación-Floculación-Sedimentación	Adsorción sobre carbón activado	Intercambio iónico selectivo	Cloración al punto de quiebre	Ósmosis inversa	Infiltración-percolación
DBO*	+	+	X		+	+
DQO*	+	X	X		+	+
SST*	+	+	+		+	+
Fósforo*	+	+			+	+
Grasas y aceites*	X	X				+
Coliformes totales*	+	+		+		+
SDT					+	
Arsénico	X	O				
Bario	X					
Cadmio	+	O				O
Cromo*	+	X				
Cobre*	+	X				+
Flúor	X	O				X
Hierro*	+	+				
Plomo*	+	X				X
Manganeso	X	X			+	
Mercurio	O					
Selenio	+	O				
Zinc*	+	+				+
Color*	+	+			+	+
Agentes espumantes*	X	+			+	+
Turbiedad*	+	+			+	+

Nota: O = Eliminación del 25 % de la concentración del efluente.

X = 25-50 %

+ = más del 50 %.

Los espacios en blanco indican que no se dispone de datos, que los resultados no permiten llegar a conclusiones, o que se produce un aumento de la concentración.

En la tabla 7, las celdas señaladas con asterisco indican los contaminantes que más nos importa remover. Las celdas sombreadas en gris indican los procesos que mejor remueven dichos contaminantes.

Con el fin de completar la información sobre el proceso de tratamiento de ósmosis inversa, se incluye la tabla 8.

Tabla 8. Porcentaje de eliminación de diferentes residuos por el proceso de ósmosis inversa⁹

ELEMENTO	% ELIMINADO	ELEMENTO	% ELIMINADO
Bario	97%	Potasio	92%
Bicarbonato	94%	Radio	97%
Cadmio	97%	Selenio	97%
Calcio	97%	Silicatos	96%
Cloro	92%	Plata	85%
Cromo*	97%	Sodio	92%
Cobre*	97%	Estroncio	97%
Detergentes*	97%	Sulfatos	97%
Flúor	70%	Bifenilos policlorados	97%
Plomo*	97%	Insecticidas	97%
Magnesio	97%	Herbicidas	97%
Níquel	97%	Nitratos	80%
Sólidos Disueltos Totales (SDT)	80%		

En la tabla 8 se muestran señalados con un asterisco algunos de los contaminantes que nos interesa remover.

A partir de la información contenida en las tablas 7 y 8, consideramos que los siguientes tratamientos son viables: coagulación – floculación – sedimentación y ósmosis inversa. Sin embargo la Ósmosis Inversa por si sola no es capaz de remover algunos contaminantes que nos interesan.

4. CONCLUSIONES

De acuerdo a la información de las tablas 7 y 8 se propone en este trabajo un tren de tratamiento de Adsorción sobre carbón activado – Osmosis Inversa y este se comparará con un tren de Coagulación – Floculación - Sedimentación.

Para saber cual de los trenes sería mas viable, se realizan cálculos y se presenta la tabla 9 que contiene los valores esperados de concentraciones finales después de pasar el agua por los trenes de tratamiento elegidos. Los valores calculados se obtienen multiplicando la concentración típica de los contaminantes (tabla6) por la eficiencia de remoción de cada contaminante según el método seleccionado (utilizando la máxima eficiencia cuando esta existe en las tablas 7 y 8, y cuando solo dice que se remueve más del 50% se dio asignó un valor de 70 al 90%).

Tabla 9. Resultados calculados

Constituyentes del agua a tratar	Coagulación - Floculación - Sedimentación	Adsorción sobre carbón activado	Ósmosis inversa c/ C*
DBO	2000	600	90
SST	960	720	108
Grasas y aceites	100	100	100
Coliformes totales	3	1.5	1.5
Cromo	15	25	0.75
Cobre	1.5	2.5	0.075
Plomo	15	25	0.75
Mercurio	0.00075	0.001	0.001
Zinc	1.5	0.75	0.0225
Color	120	40	8

Tabla 10. Comparación de la concentración de algunos contaminantes con las concentraciones máximas según las Normas Ambientales

Contaminante	Agua residual tratada mg / L	Valores máximos permisibles mg / L^{a, b y c}
DBO	90	150
Sólidos Suspendidos Totales	108	125
Grasas y aceites	100	75
Coliformes	1.5	240
Cr	0.75	0.75
Cu	0.075	15
Pb	0.75	1
Hg	0.001	0.01
Zn	0.0225	9

Como podemos ver, el agua tratada por medio de un tren Filtro de carbón activado – Osmosis inversa nos proporciona el mejor resultado ya que elimina los contaminantes satisfactoriamente, sin generar una gran cantidad de residuos.

Sin embargo, el uso de varios tipos de tratamiento es factible, ya que técnicamente es viable. La decisión dependerá de factores como el espacio para equipo, o de la inversión que represente por lo que un análisis económico podría determinar que tratamiento emplear.

Finalmente se hacen las siguientes recomendaciones:

- Como el agua de laboratorio se transporta en cubetas se sugiere construir el drenaje para que transporte el agua residual del laboratorio al sitio de tratamiento del agua.
- Emplear el agua de lavado de equipo tal como molinos y utensilios en el completado de los lotes de pintura.
- Suspender la evaporación del agua en el proceso de tratamiento.
- Realizar pruebas de jarras para determinar prácticamente lo que en este trabajo se expone.
- Realizar un estudio económico para verificar la conveniencia de un cambio de sistema.

5. BIBLIOGRAFÍA

1. Fuchs C.
Recycler l'eau: Une réalité, proceedings of the 12èmes Journées Information
Eaux,
France, 1996.
2. Manual del ingeniero químico
Perry, Robert H. editor.
Mc Graw Hill
México, 1994.
3. Physical – Chemical Treatment of Water and Wastewater
Sincero Arcadio P., Sincero Gregoria A.
U. S. A., 2003
4. Medina San Juan, José Antonio
Desalación de aguas salobres y de mar: Osmosis Inversa
México, 2000
5. Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse
Metcalf & Eddy
Mc Graw Hill
U. S. A. 1996
6. Análisis particulares realizados a una planta en México.

6. PÁGINAS WEB

- a) [HTTP://CARPETAS.SEMARNAT.GOB.MX/SSFNA/NORMAS%20VIGENTES%20PDF/SECTOR%20PRIMARIO/NOM-002-SEMARNAT-1996.PDF](http://CARPETAS.SEMARNAT.GOB.MX/SSFNA/NORMAS%20VIGENTES%20PDF/SECTOR%20PRIMARIO/NOM-002-SEMARNAT-1996.PDF)
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 002 – ECOL – 1996
QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS DE AGUAS RESIDUALES
A LOS SISTEMAS DE ALCANTARILLADO URBANO O MUNICIPAL
- b) [HTTP://CARPETAS.SEMARNAT.GOB.MX/SSFNA/NORMAS%20VIGENTES%20PDF/SECTOR%20PRIMARIO/NOM-001-SEMARNAT-1996.PDF](http://CARPETAS.SEMARNAT.GOB.MX/SSFNA/NORMAS%20VIGENTES%20PDF/SECTOR%20PRIMARIO/NOM-001-SEMARNAT-1996.PDF)
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 001 – ECOL – 1996
QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
CONTAMINANTES EN LAS DESCARGAS RESIDUALES EN AGUAS
Y BIENES NACIONALES
- c) [HTTP://CARPETAS.SEMARNAT.GOB.MX/SSFNA/NORMAS%20VIGENTES%20PDF/SECTOR%20PRIMARIO/NOM-003-SEMARNAT-1997.PDF](http://CARPETAS.SEMARNAT.GOB.MX/SSFNA/NORMAS%20VIGENTES%20PDF/SECTOR%20PRIMARIO/NOM-003-SEMARNAT-1997.PDF)
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 003 – ECOL – 1997
QUE ESTABLECE LOS LÍMITES MÁXIMOS PERMISIBLES DE
CONTAMINANTES PARA LAS AGUAS RESIDUALES TRATADAS
QUE SE REUSEN EN SERVICIOS AL PÚBLICO
- d) <http://carpetas.semarnat.gob.mx/ssfna/NORMAS%20VIGENTES%20pdf/INDUSTRIA/NOM-052-SEMARNAT-1993.pdf>
NORMA OFICIAL MEXICANA NOM – 052 – ECOL – 1993
QUE ESTABLECE LAS CARACTERÍSTICAS DE LOS RESIDUOS
PELIGROSOS, EL LISTADO DE LOS MISMOS Y LOS LÍMITES QUE
HACEN A UN RESIDUO PELIGROSO POR SU TOXICIDAD AL
AMBIENTE

- e) <http://www.ecochemint.com/spanish/rofundc.htm>
- f) <http://www.paktechsearch.com/Focus.asp>
- g) http://www.pwtinc.com/membrane_cleaning_under_the_micr.htm

APÉNDICE

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Diagrama de proceso de una compañía mexicana de fabricación de pinturas en base agua.....	9
Figura 2. Cribado o desbaste.....	15
Figura 3. Sedimentador.....	15
Figura 4. Flotación.....	16
Figura 5. Floculador.....	16
Figura 6. Filtración.....	17
Figura 7. Sistema de osmosis inversa.....	17
Figura 8. a) Sistema de lodos activados b) Sistema de biodiscos.....	20
Figura 9. Comparación de la DBO con la DQO.....	20
Figura 10. Metodología de tratamiento de aguas residuales de una industria de pinturas.....	21

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Pinturas en base agua.....	10
Tabla 2. Límites máximos permisibles de contaminantes - 1, NOM - 002 – ECOL – 1996. 12	
Tabla 3. Límites máximos permisibles de contaminantes - 2, NOM – 001 – ECOL - 1996. 13	
Tabla 4. Límites máximos permisibles de contaminantes, NOM - 003 – ECOL – 1997 13	
Tabla 5. Tipos de procesos de membrana.....	18
Tabla 6. Contaminantes típicos de los residuos líquidos en la industria de pinturas.....	22
Tabla 7. Procesos y operaciones unitarias empleados en la recuperación del agua residual y potencial de eliminación de contaminantes.....	23
Tabla 8. Porcentaje de eliminación de diferentes residuos por el proceso de ósmosis inversa.....	24
Tabla 9. Resultados calculados.....	25
Tabla 10. Comparación de la concentración de algunos contaminantes con las concentraciones máximas según las Normas Ambientales.....	26