

# **PROPUESTAS PARA EL TRATAMIENTO DE EFLUENTES INDUSTRIALES**

RODRIGO BOGADO RIVAS

ECOPRENEUR PARAGUAY S.A.

CNEL. LÓPEZ No. 1.753 Bo. SAJONIA – TEL. 422836 – 0971 100830

e-mail: [rbogado78@yahoo.com](mailto:rbogado78@yahoo.com)

## **RESUMEN**

Las Propuestas para el tratamiento de efluentes y sus soluciones han sido elaboradas para el estudio de efluentes provenientes de actividades de empresas cuyos desechos poseen un alto grado de contaminación, tanto de efluentes orgánicos como con contenidos de metales pesados.

Las propuestas en los tratamientos buscan a su vez minimizar los costos de mantenimiento y operación, que en las plantas de tratamiento convencionales son un factor determinante del funcionamiento de ellas, así como también es un punto sumamente influyente para las industrias a la hora de decidirse por la solución más conveniente para el tipo de efluente que producen y a la vez buscar aquella salida más económica al problema que representa la falta de un tratamiento efectivo para los efluentes emitidos.

Los métodos utilizados en estas propuestas combinan los procesos físicos, biológicos y químicos, otorgando a los tratamientos realizados una alta eficiencia y rendimiento en el producto final para el lanzamiento.

## 1. INTRODUCCIÓN

Toda comunidad genera residuos tanto sólidos como líquidos. La fracción líquida de los mismos, aguas residuales, es esencialmente el agua de la que se desprende la comunidad una vez que ha sido contaminada durante los diferentes usos para los cuales ha sido empleada.

Si se permite la acumulación y estancamiento de agua residual, la descomposición de la materia orgánica que contiene, puede conducir a la generación de grandes cantidades de gases malolientes. A este hecho cabe añadir la frecuente presencia en el agua residual bruta, de numerosos microorganismos patógenos y causantes de enfermedades que habitan en el aparato intestinal humano o que pueden estar presentes en ciertos residuos industriales.

También suelen contener nutrientes, que pueden estimular el crecimiento de plantas acuáticas, y puede incluir también compuestos tóxicos. Es por todo ello que la evacuación inmediata y sin molestias del agua residual de sus fuentes de generación, seguida de su tratamiento y eliminación, es no sólo deseable sino también necesaria en toda sociedad industrializada.

## 2. SITUACIÓN ACTUAL

Actualmente en nuestro país en los últimos 20 años, ha habido un incremento importante en la utilización de sustancias químicas en las actividades productivas industriales, en la agricultura e incluso en nuestras propias casas. Muchas de estas sustancias producidas por las actividades industriales poseen propiedades toxicológicas que representan un peligro potencial para la salud humana y el medio ambiente.

A pesar de que existen organismos encargados de controlar a las distintas industrias, como de mataderos, curtiembres, etc., ellos siguen evacuando sus efluentes, sin tratamiento alguno, ocasionando daños al medio ambiente, y un peligro impredecible para las generaciones futuras.

Se conoce como operaciones unitarias aquellos métodos de tratamiento en los que predominan los fenómenos físicos, mientras que aquellos métodos en los que la eliminación de los contaminantes se realiza en base a procesos químicos o biológicos se conocen como procesos unitarios. En la

actualidad, las operaciones y procesos unitarios se agrupan entre sí para constituir los así llamados tratamientos primario, secundario y terciario (o tratamiento avanzado).

El tratamiento contempla el uso de operaciones físicas tales como la sedimentación y el desbaste para la eliminación de los sólidos sedimentables y flotantes presentes en el agua residual.

En el tratamiento secundario son procesos biológicos y químicos los que se emplean para eliminar la mayor parte de la materia orgánica. En el tratamiento terciario se emplean combinaciones adicionales de los procesos y operaciones unitarias con el fin de eliminar otros componentes, tales como nitrógeno y el fósforo, cuya reducción con el tratamiento secundario no es significativa.

Las aguas residuales originadas en comunidades y municipios deben ser vertidas en última instancia, al cauce de agua natural o al mismo terreno. La pregunta acerca de qué contaminantes contenidos en el agua residual, y a qué nivel, deben ser eliminados para la protección del entorno, requiere una respuesta concreta en cada caso. Para establecer dicha respuesta es preciso analizar las condiciones y necesidades locales en cada caso, y aplicar tanto los conocimientos científicos como la experiencia previa de ingeniería.

## 3. CONCEPTOS BÁSICOS

El tratamiento de efluentes es el conjunto de operaciones y procesos unitarios que se realizan sobre las aguas residuales, con el fin de modificar sus características físicas, químicas y microbiológicas para que una vez vertida o liberada en el medio ambiente no produzcan daños al ecosistema.

Cuando un producto de desecho se incorpora al agua, el líquido resultante recibe el nombre de agua residual. Las aguas residuales pueden ser de origen doméstico, industrial, subterráneo y meteorológico, y estos tipos de aguas residuales suelen llamarse respectivamente domésticas, industriales, de infiltración y pluviales. Es necesario tratar las aguas residuales antes de enterrarlas o devolverlas a los sistemas hídricos locales a fin de evitar la contaminación ambiental.

El vertido de aguas residuales es una causa importante de la contaminación del agua

potable. En los países en vías de desarrollo, el 95% de las aguas residuales se descargan sin ser tratadas en ríos, arroyos o lagos cercanos que a su vez suelen ser una fuente de agua potable. Las personas que consumen esta agua son más propensas a contraer enfermedades infecciosas que se propagan a través de aguas contaminadas, el principal problema de salud en países en vías de desarrollo. Además, la contaminación producida por las aguas residuales destruye los peces de agua dulce, una importante fuente de alimentos, y favorece la proliferación de algas nocivas en zonas costeras; de ahí la importancia de su previo tratamiento.

Una industria tiene la responsabilidad, moral, legal y económica de afrontar el tratamiento de sus aguas residuales como uno de los costos variables del negocio análogo a los problemas laborales de venta y de materia prima.

Las aguas residuales para su tratamiento se clasifican en tres fases:

1. Tratamiento Primario: en el tratamiento primario se elimina un gran porcentaje de sólidos en suspensión y materia inorgánica.
2. Tratamiento Secundario: en el tratamiento secundario se trata de reducir el contenido en materia orgánica acelerando los procesos biológicos naturales.
3. Tratamiento Terciario: es necesaria cuando el agua va a ser reutilizada; elimina un 99% de los sólidos y además se emplean varios procesos químicos para garantizar que el agua esté tan libre de impurezas como sea posible.

Los Métodos de Tratamiento pueden ser:

1. Métodos Físicos: incluyen métodos de sedimentación, flotación, absorción y desecación.
2. Métodos Químicos: incluyen las reacciones de neutralización y precipitación.
3. Métodos Biológicos: incluyen los filtros biológicos, lodos activados y digestión.

El objetivo principal de este trabajo es presentar los conceptos, fundamentos y resultados de las dos formas de tratamiento que se desean implementar y sugerir para la correcta deposición final de los efluentes de mataderos, curtiembres y otro tipo de industrias.

Para cumplir con este propósito es necesario aclarar convenientemente que método de tratamiento será utilizado para cada uno de los efluentes mencionados, a ese respecto serán:

- **MATADEROS Y CURTIEMBRES: MÉTODO POR EXTRACCIÓN DE MINERALES NATURALES.**
- **EFLUENTES CON METALES PESADOS: MÉTODO POR INTERCAMBIO DE IONES.**

#### **4. DESCRIPCIÓN DE LOS MÉTODOS PROPUESTOS**

##### **4.1. Método por extracción de minerales naturales.**

Sustancias químicas usadas para el estudio:

###### **4.1.1. Hierro**

###### **4.1.1.1. Definición**

Es un elemento metálico, magnético, maleable y de color blanco plateado. Tiene de número atómico 26 y es uno de los elementos de transición del sistema periódico.

###### **4.1.1.2. Propiedades**

El hierro puro es un metal blando, casi tan blanco como la plata, tiene una dureza que oscila entre 4 y 5. Es maleable y dúctil. Se magnetiza fácilmente a temperatura ordinaria; es difícil magnetizarlo en caliente, y a unos 790 °C desaparecen las propiedades magnéticas. Tiene un punto de fusión de unos 1.535 °C, un punto de ebullición de 2.750 °C y una densidad relativa de 7,86. Su masa atómica es 55,845.

###### **4.1.2. Aluminio**

###### **4.1.2.1. Definición**

Es el elemento metálico más abundante en la corteza terrestre. Su número atómico es 13 y está en el grupo 13 de la tabla periódica.

###### **4.1.2.2. Propiedades**

Es un metal blanco como el estaño, brillante, flexible, de color plateado y muy ligero, su masa atómica es 26,9815; tiene un punto de fusión de 660 °C, un punto de ebullición de 2.467 °C y una densidad relativa de 2,7. Es un metal muy electropositivo y altamente reactivo. Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que resiste la posterior acción corrosiva. Tiene la propiedad de reducir muchos compuestos metálicos a sus metales básicos.

#### **4.1.3. Calcio**

##### **4.1.3.1. Definición**

Es un elemento metálico, reactivo y blanco plateado. Pertenecer al grupo 2 (o IIA) del sistema periódico, y es uno de los metales alcalinotérreos (comprendidos entre los álcalis y la llamada tierra). Su número atómico es 20.

##### **4.1.3.2. Propiedades**

El calcio tiene seis isótopos estables y varios radiactivos. Es un metal blanco, brillante, muy maleable y dúctil, amarillea rápidamente al contacto con el aire. Tiene un punto de fusión de 839 °C, un punto de ebullición de 1.484 °C y una densidad de 1,54 g/cm<sup>3</sup>; su masa atómica es 40,08.

#### **4.1.4. Acido clorhídrico**

##### **4.1.4.1. Definición**

La combinación del cloro con el hidrógeno se llama gas clorhídrico (HCl), y se forma directamente por unión de ambos elementos. A la luz difusa la combinación se hace poco a poco, pero a la luz solar directa, y también haciendo saltar la chispa eléctrica, se unen instantáneamente y con explosión violenta. La solución acuosa de gas clorhídrico se denomina ácido clorhídrico y se encuentra en el comercio en distintos grados de pureza (HCl comercial), Acido clorhídrico puro en diferentes concentraciones, que se expresan en tanto por ciento.

##### **4.1.4.2. Propiedades**

El clorhídrico es un gas incoloro de olor sofocante. Al aire húmedo forma como una niebla. Se puede licuar a fuerte presión y baja temperatura, y convertirlo luego en una masa cristalina. El gas clorhídrico tiene sabor ácido y enrojece el papel de tornasol humedecido. Su solubilidad en agua es muy grande. A 0° y 760mm. de presión. El ácido clorhídrico empleado en Medicina es de 24,8 a 25,2% y de peso específico 1,19, que desprende humos en contacto con el aire, por lo cual se denomina ácido clorhídrico fumante.

#### **4.1.5. Polímeros**

##### **4.1.5.1. Definición**

Los polímeros son sustancias que consisten en grandes moléculas, compuestas de otras más pequeñas y repetidas, llamadas monómeros. El número de unidades que se repiten en una molécula grande se llama grado de polimerización; los materiales con un grado elevado de polimerización se denominan altos polímeros; los polímeros

que constan de un único tipo de monómero se denominan homopolímeros. Los que están formados por más de un tipo de monómeros recibe el nombre de copolímeros.

##### **4.1.5.2. Propiedades**

Las propiedades de los polímeros los convierten en materias de aplicación muy diversa y de gran utilidad. Su inercia química los hace inatacables por la mayoría de los ácidos y bases y por los agentes atmosféricos. Pueden resistir mucho el desgaste y la rotura. Se colorean con facilidad con los tintes.

##### **4.1.5.3. Clasificación**

Los polímeros se clasifican en:

- a. Naturales (caucho, almidón y proteínas)
- b. Artificiales, obtenidos por:
  - Por adición (policloruro de vinilo)
  - Por condensación (nailon)

La mayoría de las sustancias orgánicas presentes en la materia viva, como las proteínas, la madera, la quitina, el caucho y las resinas, son polímeros; también lo son muchos materiales sintéticos como los plásticos, las fibras(nailon, rayón), los adhesivos, el vidrio y la porcelana.

##### **4.1.5.4. Descripción del proceso de la corriente de Efluentes**

###### **4.1.5.4.1. Primera fase o tratamiento primario**

Se lleva a cabo mediante la adición de hierro, aluminio y ácido clorhídrico con las concentraciones de 1,2%, 0,6% y 2% respectivamente (las que pueden variar de acuerdo al tipo de efluente y a los resultados de los ensayos que se deben realizar previamente), vertidos al mismo tiempo al tanque de reacción. Los dos primeros elementos empleados se los extraen de muestras de tierra de distintas zonas del país que contienen los elementos mencionados, previamente ensayada en laboratorio para determinar la concentración de los mismos. Aquí ocurre la reacción de formación de sales solubles de sulfatos tanto de Al y Fe.

El ácido proporciona el medio necesario (pH) para que la reacción ocurra. Esto se logra gracias a una bomba dosificadora y al phmetro. Cuando el pH en el tanque de reacción llega a 3,8 aproximadamente, controlado gracias al phmetro, deja de funcionar la primera fase. En esta primera etapa se elimina gran porcentaje de sólidos

en suspensión y materia inorgánica. Además que el descenso de pH a 3,8 precipita gran parte de las proteínas coloidales. El sobrenadante pasa por gravedad al tanque de regulación en donde se inicia la segunda fase o tratamiento secundario.

#### **4.1.5.4.2. Segunda fase o tratamiento secundario**

Se inicia con la adición de calcio al 1% de concentración, aproximadamente, al tanque de regulación, con esto se logra precipitar las sales solubles presentes por medio de una reacción de precipitación por intercambio de iones, también ocurre el proceso de coagulación que consiste en alterar las características superficiales de los sólidos en suspensión de modo que se adhieran los unos a los otros y precipiten. En esta fase el pH aumenta porque ocurre también una reacción de neutralización, donde el calcio reacciona con el ácido clorhídrico formando cloruro de calcio (el cual precipita) y agua. Esta etapa es controlada por un phmetro que llega hasta un valor de 6,5 y en ese momento la adición de calcio se detiene. Seguidamente el sobrenadante pasa al último tanque donde es agregado un polímero cuya finalidad es producir el proceso de **floculación** que consiste en la aglutinación de los sólidos en suspensión. Los procesos tales como la **coagulación, precipitación y floculación** eliminan más del **80%** de los sólidos en suspensión.

Finalmente para producir la separación de los sólidos aglutinados y el líquido en el que se encontraba disuelto, se dispone de un tanque de Sedimentación, el cual se encuentra convenientemente equipado para favorecer a la precipitación de los sólidos en suspensión al fondo del mismo por distintos mecanismos.

De este modo quedan separadas las partes sólida y líquida del efluente tratado, la parte líquida es conducida al tanque de Monitoreo para efectuar todos los estudios que indiquen la efectividad del tratamiento aplicado. La parte sólida enviada al fondo del tanque de Sedimentación es evacuada hacia un tanque de Filtración o a un dispositivo equipado especialmente para realizar, por medio de bombas de vacío u otro mecanismo, el secado completo de la parte sólida y separarla totalmente de la líquida, pudiendo ser utilizada para otras actividades según las características de los efluentes tratados.

Eventualmente si se desea realizar una reutilización del agua tratada se puede dotar a la planta de la infraestructura adecuada para contar con un tanque de filtración de carbón activado, el que logrará que el líquido tratado tenga un acabado muy fino en esta última etapa del tratamiento y permitirá la recirculación del agua o su uso en sistemas de riego, para agua de lavado, etc. otorgando un ahorro en este recurso de la industria en cuestión, e incluso realizando instalaciones adicionales se podría incorporar el agua tratada a la misma producción de la industria, para de esta manera no verter el líquido tratado en los cauces naturales sino por el contrario re utilizarlo y ahorrar totalmente el uso del agua en los procesos de producción.

Con todo el proceso mencionado se puede deducir que todo lo que el tratamiento de efluentes obtiene puede ser eliminado sin peligros, en un caso, y en otro ser aprovechado para crear productos que sean reutilizables, como el caso de los sedimentos que servirán de abono o el agua recuperada en diferentes actividades.

#### **4.2. Método por intercambio de iones.**

En el proceso del tratamiento de efluentes de industrias con efluentes con metales pesados, el desecho pasa por la torre que contiene la resina para el intercambio iónico, dentro del desecho están mezclados los aniones y los cationes que al intercambiar con el ión hidróxido ( $\text{OH}^-$ ) y/o ión hidrógeno ( $\text{H}^+$ ) que son los intercambios radicales de la resina hace que el drenaje se recupere hasta acercarse a la condición de agua pura (agua recuperada) y nuevamente es enviada a cada tanque de lavado del sistema.

##### **4.2.1. Resina de intercambio iónico.**

La resina de intercambio de iones es un grano esférico de fabricación etileno de 0.3~1.2mm de diámetro. Desde la superficie esférica hacia la parte interna corren infinitas cantidades de canales que en esas paredes y en las superficies esféricas enlazan los intercambios radicales que tienen la función de intercambiar.

##### **4.2.1.1. Clases/ tipos de resina de intercambio iónico.**

La resina de intercambio iónico se clasifica en 2 tipos por su estructura:

- a) Tipo Macro poros: (Aprox. 500 A° de calibre): se utiliza en caso de que contengan macromoléculas de materia orgánica (activador) en el drenaje.

b) Tipo Gel: (Aprox. 8 A° de calibre): mayormente se utiliza para tratamiento de agua.

#### 4.2.1.2. Volumen general de intercambio y volumen válido de intercambio.

Cada resina de intercambio iónico al absorber cierta cantidad fija de iones ya no absorbe más y queda saturada.

Se dice Volumen de intercambio a la cantidad de absorción de iones hasta saturarse. Normalmente es:

$$\frac{\text{gramo eq.}^{*1}}{\text{resina } 1L} \quad \left( \frac{\text{eq}}{L - R} \right)$$

Su unidad de expresión.

Es decir, supongamos que la capacidad de intercambio de alguna resina de intercambio iónico, es de 1 eq. / L – R, si es absorbido 1eq. parte del ión en 1L de resina, se expresa que es imposible absorber más cantidad que eso.

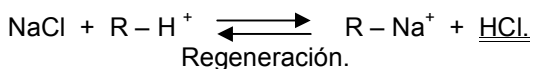
Existen 2 clases de capacidad de intercambio:

- a) Capacidad General de intercambio
- b) Capacidad Válida de intercambio.

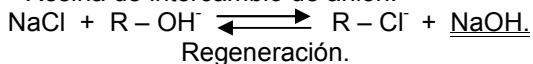
#### 4.2.1.3. Regeneración y Regenerante.

En caso de que se sature la resina de intercambio iónico por los iones, se utiliza químicos para reponer a forma original y volver a absorber los iones. A esta operación se la denomina Regeneración y al químico usado Regenerante.

\* Resina de intercambio de catión:



\* Resina de intercambio de anión:



La cantidad del regenerante, teóricamente es la cantidad equivalente de capacidad válida de la resina con la cantidad de ácido clorhídrico o de soda cáustica, pero en realidad, depende de la forma de regenerar y de los tipos de resinas, se necesitará de 130 a 300% más que en la cantidad teórica.

#### 4.2.1.4. Nivel de regeneración y Capacidad

La capacidad válida de intercambio, se obtiene por alteración de la condición de manejo y por la estructura de la torre

(cilindro), el cambio más notable se observa al agregar una cierta cantidad de regenerante (se denomina nivel de regeneración).

Pero la capacidad válida de intercambio no aumenta por la proporción directa o por el aumento de nivel de regeneración. Se determina la capacidad válida de intercambio a partir de considerar económicamente el nivel de regeneración.

Por lo tanto, aunque se utilice la misma resina de intercambio iónico, existe alguna diferencia en la capacidad válida de intercambio y en el nivel de regeneración dependiendo de la compañía de tratamiento de agua. Cuanto mayor sea el nivel de regeneración, más elevada es la calidad del agua tratada.

#### 4.2.1.5.

Como se mencionó más arriba, la resina de intercambio iónico, al pasar por una corriente absorbe los iones del agua y cada vez que empieza a saturarse, empiezan a aumentar el fluido de los iones y hace que empeore la calidad de agua.

Generalmente, dentro de los diferentes tipos de iones, es mayor la fuerza de enlace con la resina de intercambio iónico, los iones que tienen gran cantidad de peso atómico o peso molecular.

Por lo tanto, al acercarse a la saturación, los iones que empiezan a escaparse de la resina de intercambio de catión son iones Na<sup>+</sup>, y de la resina de intercambio de anión son iones HSiO<sub>3</sub><sup>-</sup> (silicio).

#### 4.2.2. Técnica de intercambio iónico.

##### 4.2.2.1.

#### saturación de resina de intercambio de iones.

La conductividad es el valor que indica los grados de calidad de agua de tratamiento de la misma, que viene de la planta en la que está en conjunto la resina anión y la resina catión. El aparato de medición se denomina Medidor de Conductividad.

Comúnmente su unidad de medida es μS/cm (micro siemens/cm), mide la resistencia del agua dentro de los electrodos a una distancia de 1cm y es el valor recíproco de la misma.

Cuando se acerca la saturación y escapan los iones, ya que los iones son una banda de partículas de electricidad que aumentan su

**RENDIMIENTO DEL TRATAMIENTO  
PARA EFLUENTES DE MATADEROS**