

Tratamientos terciarios del agua residual

Control de la operación de los sistemas de
tratamiento de aguas residuales

Servicio Nacional de Aprendizaje - SENA

Tratamientos terciarios del agua residual

Aportan a la eliminación de las cargas orgánicas y todas aquellas demás sustancias y componentes de contaminación que los tratamientos de orden secundario no logran descartar. Cabe anotar que los procesos terciarios son de naturaleza biológica o físico química y que el proceso físico químico es, de momento, el más usual.

1. Intercambio iónico

El intercambio iónico describe un proceso químico específico en el que iones disueltos no deseados son intercambiados por otros iones con una carga similar. Los iones son átomos o moléculas que contienen un número total de electrones que no es igual al número total de protones. Hay dos grupos diferentes de iones, los cationes, que están cargados en forma positiva, y los aniones, que están cargados en forma negativa. Tenemos que agradecerle a Michael Faraday por estos nombres, que provienen de la atracción de los cationes hacia el cátodo y de la atracción de los aniones hacia el ánodo en un dispositivo galvánico.

Fluence. (2016). ¿Qué es el intercambio iónico?

<https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-intercambio-ionico/#:~:text=El%20intercambio%20i%C3%B3nico%20es%20un,desalcalinizaci%C3%B3n%2C%20desionizaci%C3%B3n%2C%20y%20desinfecci%C3%B3n.>

Figura 47 Intercambio iónico para el tratamiento de efluentes



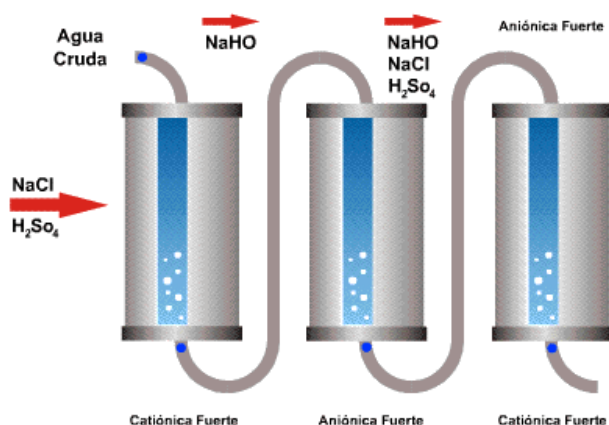
Nota. Condorchem envitech. (s.f). Intercambio iónico para el tratamiento de efluentes. <https://blog.condorchem.com/intercambio-ionico-para-el-tratamiento-de-efluentes>

Esta atracción es utilizada para eliminar contaminantes iónicos disueltos del agua. El proceso de intercambio tiene lugar entre un sólido (resina o zeolita) y un líquido (agua). Durante el proceso, los componentes menos deseados son intercambiados por otros considerados más deseables. Estos iones deseables son los que se cargan sobre el material de la resina. En el intercambio de cationes durante el tratamiento de agua, los iones cargados positivamente que entran en contacto con la resina de intercambio iónico son intercambiados con los iones cargados positivamente disponibles en la superficie de la resina, generalmente sodio.

Fluence. (2016). ¿Qué es el intercambio iónico?

<https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-intercambio-ionico/#:~:text=El%20intercambio%20i%C3%B3nico%20es%20un,desalcalinizaci%C3%B3n%2C%20desionizaci%C3%B3n%2C%20y%20desinfecci%C3%B3n.>

Figura 48 Intercambio iónico para agua cruda



Nota. Boss tech. (2018). Intercambio iónico para agua cruda. bosstech.pe/blog/tratamiento-de-agua-por-intercambio-ionico/

En el proceso de intercambio aniónico, los iones cargados negativamente son intercambiados con iones cargados negativamente en la superficie de la resina, generalmente cloruro. Varios contaminantes — incluyendo a los nitratos, fluoruros, sulfatos y arsénico — se pueden remover mediante el intercambio de aniones. Estas resinas pueden utilizarse solas o en conjunto, para eliminar los contaminantes iónicos del agua. Si una sustancia no es iónica, como es el caso del benceno, entonces no podrá ser removida por medio del intercambio iónico.

Fluence. (2016). ¿Qué es el intercambio iónico?

<https://www.fluencecorp.com/es/que-es-el-intercambio-ionico/#:~:text=El%20intercambio%20i%C3%B3nico%20es%20un,desalcalinizaci%C3%B3n%20desionizaci%C3%B3n%20y%20desinfecci%C3%B3n.>

De acuerdo con la empresa Pure agua Inc, los sistemas de intercambio iónico pueden eliminar contaminantes como:

- Eliminación de la dureza (ablandador de agua)
- Nitratos
- Alcalinidad
- Eliminación de cloruro
- Sulfatos
- Fluoruros
- Reducción orgánica
- Eliminación de sílice
- Perclorato
- Eliminación de radio y uranio
- Remoción de arsénico
- Eliminación de bario
- Remoción de boro
- Reducción de TDS

2. Adsorción

Define la propiedad de ciertos materiales (adsorbentes) de fijar en su superficie moléculas orgánicas extraídas de la fase líquida en la que se encuentran. El proceso de adsorción consiste en la captación de sustancias solubles en la superficie de un sólido. Un parámetro fundamental en este caso será la superficie específica del sólido, dado que el compuesto soluble a eliminar se ha de concentrar en la superficie de este.

Se utiliza para eliminar fenoles, hidrocarburos aromáticos nitrados, derivados clorados, etc., así como para eliminar olor, color y sabor. El adsorbente más utilizado en el tratamiento de aguas es el carbón activo.

Cyclusid. (2020). Adsorción.

<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/adsorcion/>

Figura 49 Intercambio iónico para el tratamiento de efluentes



Nota. <https://www.fluencecorp.com/es/que-es-la-adsorcion/#:~:text=Un%20filtro%20de%20carb%C3%B3n%20activado,por%20medio%20de%20la%20adsorci%C3%B3n.&text=La%20adsorci%C3%B3n%20es%20amplia>

La adsorción es un proceso donde un sólido se utiliza para eliminar una sustancia soluble del agua. En este proceso el carbón activo es el sólido. El carbón activo se produce específicamente para alcanzar una superficie interna muy grande (entre 500 - 1500 m²/g). Esta superficie interna grande hace que el carbón tenga una adsorción ideal. El carbón activo viene en dos variaciones: carbón activado en polvo (PAC) y carbón activado granular (GAC).

Lenntech. (2020). Adsorción con carbón activo. <https://www.lenntech.es/adsorcion.htm>

De acuerdo con la empresa Lenntech, la versión de GAC se utiliza sobre todo en el tratamiento de aguas, puede fijar las siguientes sustancias solubles por adsorción:

- Adsorción de sustancias no polares como:
 - Aceite mineral
 - BTEX
 - Poli-hidrocarburos aromáticos (PACs)
 - (Cloruro) Fenol
- Adsorción de sustancias halogenadas: I, Br, Cl, H y F
- Olor
- Sabor
- Levaduras
- Varios productos de fermentación
- Sustancias no polares, no solubles en agua (2020, Lenntech)

El agua es bombeada dentro de una columna que contiene el carbón activo, esta agua deja la columna a través de un sistema de drenaje. La actividad del carbón activo de la columna depende de la temperatura y de la naturaleza de las sustancias. El agua pasa a través de la columna constantemente, con lo que produce una acumulación de sustancias en el filtro. Por esa razón el filtro necesita ser sustituido periódicamente. Un filtro usado se puede regenerar de diversas maneras, el carbón granular puede ser regenerado fácilmente oxidando la materia orgánica. La eficacia del carbón activo disminuye en un 5-10% tras cada regeneración (1). Una parte pequeña del carbón activo se destruye durante el proceso de la regeneración y debe ser sustituida. Si usted trabaja con diversas columnas en serie, puede estar seguro de que no tendrá un agotamiento total de su sistema de purificación.

Lenntech. (2020). Adsorción con carbón activo. <https://www.lenntech.es/adsorcion.htm>

Figura 50 Aplicación de carbón activado granulado como tratamiento terciario



Nota. Espinosa, R. (2015). Aplicación de carbón activado granulado como tratamiento terciario. <https://es.slideshare.net/renzodaviddelacruz/carbn-activado-45867315>

De acuerdo con Lenntech, las moléculas en fase de gas o de líquido serán unidas físicamente a una superficie, en este caso la superficie es de carbón activo. El proceso de la adsorción ocurre en tres pasos:

- **Macro transporte:** Movimiento del material orgánico a través del sistema de macro-poros del carbón activo (macro-poros $> 50\text{nm}$)
- **Micro transporte:** Movimiento del material orgánico a través del sistema de micro-poros del carbón activo (microporo $< 2\text{nm}$; meso-poro $2\text{-}50\text{nm}$)
- **Absorción:** Adhesión física del material orgánico a la superficie del carbón activo en los meso-poros y micro-poros del carbón activo. (Lenntech, 2020).

El nivel de actividad de la adsorción depende de la concentración de la sustancia en el agua, la temperatura y la polaridad de la sustancia. Una sustancia polar (= soluble en agua) no puede ser eliminada o es malamente eliminada por el carbón activo, una sustancia no polar puede ser totalmente eliminada por el carbón activo. Cada clase de carbón tiene su propia isoterma de adsorción (véase la figura 1) y en el campo del tratamiento de aguas esta isoterma viene definida por la función de Freundlich.

Lenntech. (2020). Adsorción con carbón activo. <https://www.lenntech.es/adsorcion.htm>

3. Microfiltración, ultrafiltración, nanofiltración

Existen diversas tecnologías de filtración por membranas que permiten la producción de agua de elevada calidad a partir de diversas fuentes de suministro. Para ello diseñamos plantas de tratamiento con diferentes etapas de filtración y sistemas de membranas. El tipo de membrana dependerá del tamaño de partícula o iones que deben ser eliminados. El rango de membrana a utilizar va desde microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y terminando en la ósmosis inversa.

Condorchem. (s.f). Microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración.
<https://condorchem.com/es/microfiltracion-ultrafiltracion-nanofiltracion/>

Figura 51 Sistema comercial de nanofiltración



Nota. Pure aqua Inc (s.f). <https://es.pureaqua.com/sistema-comercial-de-nanofiltracion/>

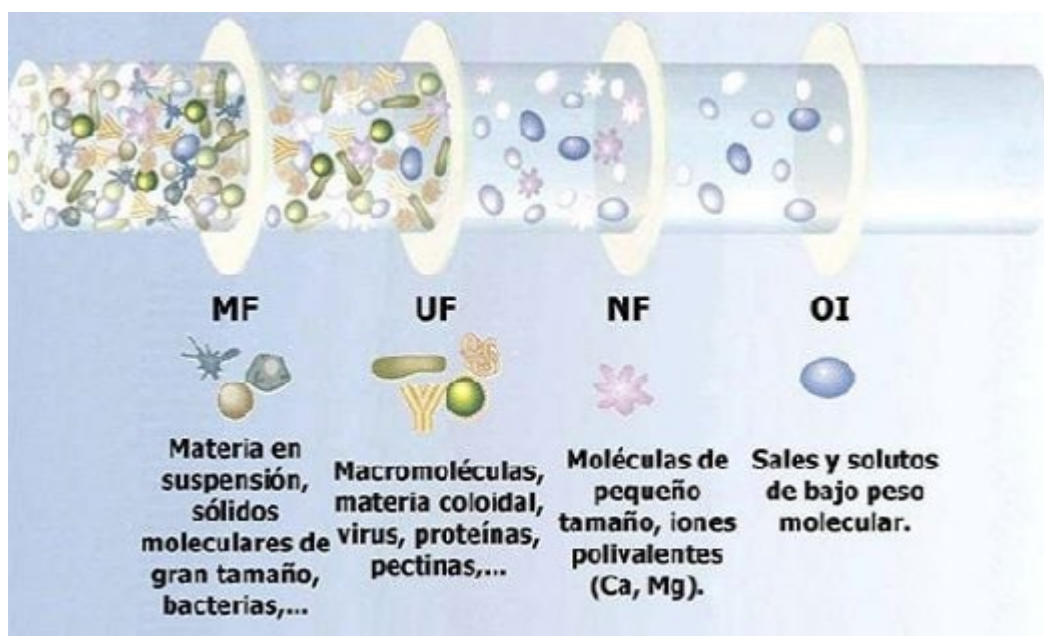
Las membranas de micro filtración tienen un tamaño de poro de 0,1-10 μm , suficiente para retener toda clase de bacterias, turbidez, macromoléculas, coloides, etc. Se utiliza en la esterilización en frío de alimentos líquidos y productos farmacéuticos, reducción de microorganismos del agua, pretratamiento del agua para nanofiltración y ósmosis inversa, etc.

Mediante la ultrafiltración se separan partículas con un tamaño de 0,001-0,1 μm . En estas membranas ya quedan retenidos todos los virus, macro proteínas, antibióticos, etc. Tienen aplicación en la eliminación de sustancias orgánicas nocivas en la industria alimentaria y de bebidas, en la eliminación de trihalometanos del agua, en el tratamiento de aguas residuales y en la industria textil entre otras.

Mediante la nanofiltración se pueden retener partículas con un tamaño de 0,1 nm-0,001 μm , lo que permite separar del agua la mayoría de las moléculas, aunque las de peso molecular bajo queden retenidas en la membrana parcialmente. La nanofiltración se utiliza para el ablandamiento del agua, para la eliminación de metales pesados de las aguas residuales, para descontaminación de las aguas residuales, como pretratamiento antes del ósmosis inversa, para la eliminación de nitratos, para la eliminación del color, etc.

Condorchem. (s.f). Microfiltración, ultrafiltración y nanofiltración.
<https://condorchem.com/es/microfiltracion-ultrafiltracion-nanofiltracion/>

Figura 52 Nanofiltración



Nota. Fibras y normas de Colombia (s.f.). <https://blog.fibrasynormasdecolombia.com/la-nanofiltracion-definicion-caracteristicas-ventajas-desventajas-aplicaciones-usos/>

4. Ósmosis inversa

Existen diversas tecnologías de filtración por membranas que permiten la producción de agua de elevada calidad a partir de diversas fuentes de suministro. Para ello diseñamos plantas de tratamiento con diferentes etapas de filtración y sistemas de membranas. El tipo de membrana dependerá del tamaño de partícula o iones que deben ser eliminados. El rango de membrana a utilizar va desde microfiltración, la ultrafiltración, la nanofiltración y terminando en la ósmosis inversa.

Figura 53 Ósmosis inversa

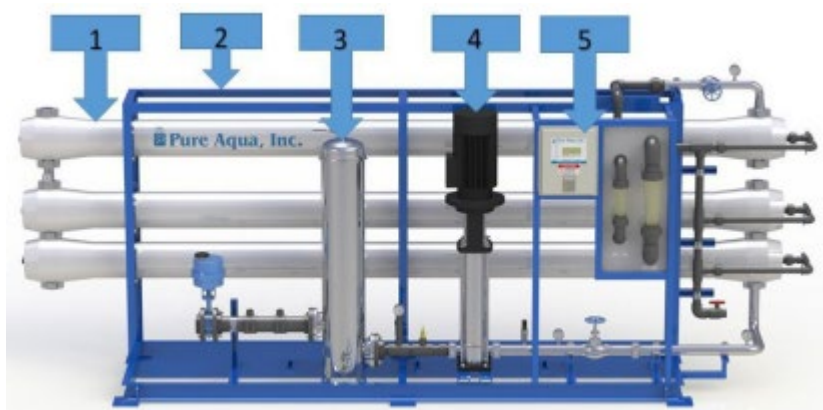


Nota. Puraqua inc. (s.f). <https://es.pureaqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

La ósmosis inversa es el proceso de ósmosis hacia atrás. La ósmosis es el paso del agua a través de una membrana de proteína (Por ejemplo: como nuestra piel o en el interior de una célula vegetal) para igualar la concentración de partículas disueltas en el agua. La membrana de proteínas permite que el agua pase a través, pero las moléculas más grandes que el agua (por ejemplo: cosas como minerales, sales y bacterias) no puede pasar. El agua fluye hacia atrás y adelante hasta que la concentración sea igual en ambos lados de la membrana, y se forma un equilibrio.

Puraqua inc. (s.f). Ósmosis inversa.
<https://es.pureaqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

Figura 54 Ósmosis inversa



Nota. Puraqua Inc. (s.f). <https://es.pureaqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

Según Puraqua Inc., un sistema de ósmosis inversa se compone de cinco partes básicas:

4.1. Recipientes a presión y membranas

Obviamente, un Sistema de Ósmosis Inversa no llegaría muy lejos sin los elementos de membrana. Las proteínas que componen los elementos de membrana varían según el tipo de agua de entrada y la claridad final. Hay elementos de membrana para agua salobre, agua de mar, desinfección de grado hospitalario y membranas diseñadas para eliminar contaminantes específicos por nombrar algunos. Si hay una necesidad de tratamiento de agua específico, puede estar seguro de que ciertamente hay un elemento de membrana para hacer el trabajo. El tamaño de la tarea (municipal, comercial o industrial) determinará el tamaño y la cantidad de membranas en un sistema. Puede haber desde una sola membrana de dos pulgadas y media (como en un Sistema de Ósmosis Inversa utilizado domésticamente debajo del fregadero) a cientos de membranas de ocho pulgadas que trabajan en conjunto (una típica planta de ósmosis inversa).

Puraqua Inc. (s.f.). ¿Qué es la ósmosis inversa?
<https://es.puraqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

4.2. Ósmosis inversa en estructura deslizante (skid)

La mejor manera de hacer que su sistema de ósmosis inversa sea lo más duradero posible es con una estructura de acero al carbono con recubrimiento en polvo para montar todos sus componentes. Este tipo de estructura metálica es resistente a los elementos y diseñado para la gran vibración de las bombas de alta presión, y se puede sujetar en el suelo para garantizar que dure toda la vida.

Puraqua Inc. (s.f.). ¿Qué es la ósmosis inversa?
<https://es.puraqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

4.3. Filtro de cartucho

La mayoría de los sistemas de ósmosis inversa incluyen un filtro de cartucho para garantizar que ninguna partícula lo suficientemente grande como para dañar las membranas pase a través de ellas. Este cartucho es generalmente un filtro de polipropileno hilado de cinco micras, pero la medida puede variar a pedido. El cartucho viene en una carcasa duradera que puede manejar la presión de la alimentación principal o las bombas de refuerzo.

Puraqua Inc. (s.f.). ¿Qué es la ósmosis inversa?
<https://es.puraqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

4.4. Bomba de alta presión de ósmosis inversa

Sin una bomba de alto grado, la tasa de rechazo para un sistema de ósmosis inversa no es viable en la mayoría de los entornos comerciales o industriales. Es vital para el sistema asegurarse de que la bomba coincida con la cantidad y el tamaño de la membrana de forma adecuada. Por lo general, cuanto mayor sea la potencia de la bomba de admisión, mejores serán las tasas de rechazo y recuperación del permeado.

Puraqua Inc. (s.f.). ¿Qué es la ósmosis inversa?
<https://es.puraqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

4.5. Panel de control

Por último, el sistema de ósmosis inversa debe ser controlado por un operador humano. En Pure Aqua, utilizamos un controlador PLC avanzado o un microprocesador de estado sólido dependiendo de cuán avanzados estos se requieran. Los controles también se pueden utilizar para administrar múltiples sistemas simultáneamente, haciendo una planta de producción de agua eficiente que requiera la operación de un solo hombre.

Los sistemas de ósmosis inversa también pueden tener una serie de otros componentes integrados en ellos como componentes adicionales que sean requeridos según la tarea específica en la que se trabajara. Toda la estructura puede integrarse en un sistema contenedor, por ejemplo, para que su sistema de desalinización ósmosis inversa sea móvil fácil de transportar. También hay una serie de estructuras suplementarias que se pueden conectar a un sistema OI para tareas como la limpieza de membranas, el pretratamiento, la dosificación de productos químicos y una serie de otros trabajos según sea necesario.

Pureaqua Inc. (s.f.). ¿Qué es la ósmosis inversa?
<https://es.pureaqua.com/que-es-la-osmosis-inversa/>

5. Membranas cerámicas

Debido a sus características, las membranas cerámicas están siendo cada vez más utilizadas en todo tipo de procesos de depuración de aguas residuales. La gran estabilidad mecánica y química de estas membranas hacen posible su utilización tanto para efluentes de alta carga contaminante, como para reutilización de aguas de cualquier proceso industrial.

Ciclusyd. (2020). Membranas cerámicas.
<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/membranas-ceramicas/>

Figura 55 Planta piloto de filtración por membranas modelo C



Nota. CEA (s.f.). <https://www.gea.com/es/products/membrane-filtration/membrane-pilot-plants/membrane-filtration-pilot-plant-c.jsp>

Las membranas cerámicas están siendo cada vez más utilizadas en la purificación de agua. La alta estabilidad química y térmica del material de la membrana permite la regeneración química o térmica y la esterilización con productos químicos agresivos, incluso se puede utilizar vapor caliente. La estabilidad mecánica ante altas presiones permite el contra lavado de las membranas. Muestran considerablemente flujos más altos de permeado en comparación con las demás. Otra característica que las hace idóneas para tratamiento de aguas es su bajo ensuciamiento. Este hecho ayuda a reducir costes de operación y un gran ahorro de energía. Se harán menos regeneraciones, tras su utilización en depuración de aguas residuales lo que consigue una vida útil más larga y menor inversión en mantenimiento.

Ciclusyd. (2020). Membranas cerámicas.

<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-terciario/membranas-ceramicas/>

Las membranas cerámicas se fabrican principalmente con alúmina tabular (α Al₂O₃) así como de carburo de silicio (SiC) siempre a elevadas temperaturas de sinterización (1.800-2.000°C). Aunque también hay modelos de membranas planas para aplicaciones específicas, estas membranas suelen tener forma tubular y distintas configuraciones de acuerdo con el número de canales que las atraviesan; así para efluentes cargados o de mayor viscosidad, se suelen utilizar membranas de canales grandes y en menor número, mientras que para efluentes más fluidos y menos cargados se utilizan membranas con más canales y de menor tamaño. Las membranas con más canales tienen mayor superficie equivalente de filtración.

El camino más fiable para realizar un correcto diseño de la instalación a implementar es hacer ensayos o pilotajes con el líquido a tratar, y probar distintas membranas de probable utilización. EL conjunto de membranas a instalar para realizar el tratamiento se aloja en el interior de cárteres contruidos acero inoxidable, con juntas de elastómeros adecuados al medio y a las limpiezas.

Condorchem envitech. (2019). Filtración mediante membranas cerámicas para el tratamiento de aguas.

<https://blog.condorchem.com/membranas-ceramicas-tratamiento-efluentes/>

Figura 56 Filtración tangencial cerámica Della Toffola



Nota. La semana vitivinícola (2018). <http://www.sevi.net/es/3513/21/11596/Filtraci%C3%B3n-tangencial-cer%C3%A1mica-Della-Toffola-vino-bodega-maquinaria-tecnologia-filtracion-della-toffola-enologia.htm>

El líquido que se pretende filtrar se acondiciona previamente en un sistema pre filtración a fin de impedir la obstrucción de los canales de las membranas. La alimentación del líquido a tratar se hace a través de los canales que atraviesan longitudinalmente la membrana. El permeado se obtiene al atravesar el líquido las paredes de los canales reuniéndose en el exterior de la membrana. El concentrado queda en los canales y pasa al bucle de recirculación.

Condorchem envitech. (2019). Filtración mediante membranas cerámicas para el tratamiento de aguas. <https://blog.condorchem.com/membranas-ceramicas-tratamiento-efluentes/>

¡RECOMENDADO!

En los siguientes videos podrá familiarizarse con algunos tipos, características, protocolos de funcionamiento, eficiencias, ventajas y desventajas de los sistemas de tratamiento de agua:

EPM.ESP. (2016). Tratamiento de aguas residuales - Planta San Fernando [video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=3bEhLJLR7UU>

Syner Tech SAS. (2016). Plantas de tratamiento de aguas residuales [video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=VpY5j-fVw8o&t=100s>

TV Agro. (2015). Tratamiento de aguas residuales EMPAS [video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=LLqFBBHJ6yA>

Referencias bibliográficas

Cyclusid Depuración industrial (s.f.). Pretratamiento. Cyclusid.
<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/pretratamiento/>

Cyclusid Depuración industrial (s.f.). Tratamiento secundario. Cyclusid.
<http://www.cyclusid.com/tecnologias-aguas-residuales/tratamiento-aguas/tratamiento-secundario/#:~:text=El%20tratamiento%20secundario%20de%20depuraci%C3%B3n,de%20materia%20org%C3%A1nica%20biodegradable%2C%20tanto>