

## Plantas piloto de operaciones unitarias en ingeniería sanitaria

A continuación, se resumen las principales características de las diferentes unidades.

### 1- Ósmosis inversa:

#### Descripción:

El banco de ensayos cuenta con dos unidades, una provista de un mecanismo de agitación para la preparación de agua bruta y recolección de agua tratada, y un panel donde se encuentra montado el sistema de membranas de ósmosis y su sistema de control. Una bomba transporta la solución al módulo de membrana en espiral. La bomba genera la presión necesaria para la separación. La solución cruda entra por la cara frontal del módulo y circula en dirección axial entre las bolsas de membrana. La presión aplicada introduce el agua a presión en las bolsas, a través de la membrana. La membrana semipermeable deja pasar el agua (permeato). Allí fluye en forma de espiral hacia el tubo colector de permeato y sale del módulo en dirección axial. La disolución se concentra al separarse el agua en su recorrido por el módulo y abandona el módulo como retentato. La presión y el caudal se pueden ajustar mediante válvulas. Las concentraciones de iones en el agua bruta, el retentato y el permeato se registran midiendo la conductividad para controlar el resultado de la separación. El equipo cuenta con un panel para la visualización de las variables ya sea a través de la pantalla o mediante conexión Wi-Fi o con cable de red.



**Figura 1.** Planta de ósmosis inversa. *Izquierda, arriba:* motor, bomba y amortiguador de pulsaciones; *abajo:* unidad de preparación y disposición de soluciones. *Derecha:* membrana y panel de comandos.

## 2- Oxidación avanzada

### Descripción:

Este equipo consta de un reactor de película descendente de funcionamiento discontinuo que permite realizar reacciones en presencia de luz ultravioleta. El reactor consta de un tubo transparente, abierto por el extremo inferior con una canaleta giratoria en el extremo superior. El agua bruta se bombea desde un depósito hasta la canaleta con una bomba. Desde aquí, el agua vuelve a fluir como una película descendente a lo largo de las paredes interiores del tubo hasta el depósito produciendo un circuito de agua cerrado. En el centro del tubo hay una lámpara de luz ultravioleta (254 nm) que irradia la solución que desciende por la película. La lámpara de luz ultravioleta está equipada con un tubo protector para protegerla de la irradiación. El caudal de circulación y la temperatura del agua se pueden observar continuamente. Para analizar los ensayos se requiere de equipamiento analítico.

En el tratamiento de aguas, los procesos de oxidación sirven para eliminar sustancias orgánicas no biodegradables. Si la oxidación se realiza mediante radicales hidroxilos, se habla de "oxidación avanzada". Un método habitual para la formación de radicales hidroxilos es la irradiación de peróxido de hidrógeno con luz ultravioleta. Los radicales hidroxilos pueden oxidar las sustancias orgánicas no biodegradables contenidas en el agua bruta.



**Figura 2.** Equipo de oxidación avanzada. *Izquierda:* equipo completo. *Derecha:* lámpara de luz ultravioleta.

### 3- Precipitación y floculación

#### Descripción:

Este equipo permite demostrar la eliminación de sustancias disueltas (ej. hierro) mediante precipitación y floculación con sedimentación posterior. Cuenta con una unidad de preparación de soluciones y un bando de ensayos. Una bomba transporta el agua a tratar desde la unidad de agua bruta a un depósito de precipitación. En este se realiza la dosificación del precipitante (ej. hidróxido de sodio). Mediante la reacción de los iones de metal disueltos con el precipitante, se forman hidróxidos metálicos insolubles. El agua fluye desde aquí a un depósito de floculación, dividido en tres compartimentos, con el objetivo de mejorar las propiedades de sedimentación de las sustancias sólidas. Mediante la adición de coagulante en el primer compartimento, se reduce las fuerzas de repulsión entre las partículas sólidas, formando microfloculos. Para producir floculos de mayor tamaño se agrega en la segunda etapa un floculante. En el tercer compartimento, de velocidad de agitación baja, se produce el crecimiento de floculos de mayor tamaño. Por último, los floculos sedimentables se separan del agua depurada en un decantador lamelar.

El caudal de tratamiento, la temperatura y el pH a la entrada y en el módulo de floculación se pueden observar. Además, en el depósito de precipitación el pH se puede regular, el mismo es controladora mediante una bomba dosificadora. Para poder medir la conductividad existe un medidor externo. Se pueden tomar muestras en todos los puntos relevantes. Para analizar los ensayos se requiere de equipamiento analítico, el cual depende de las sustancias utilizadas.



**Figura 3.** Banco de ensayos utilizado para la remoción de hierro. *De izquierda a derecha:* tanque de precipitación, unidad de coagulación-floculación y sedimentador lamelar.

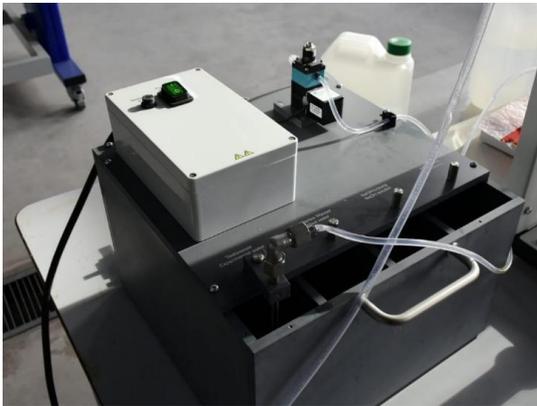
#### 4- Intercambio iónico

##### Descripción:

En el tratamiento de aguas, los intercambiadores iónicos se usan predominantemente para la desalinización y el desendurecimiento. Este equipo permite demostrar de manera ilustrativa estos procesos con ayuda de intercambiadores catiónicos y aniónicos.

Una bomba transporta el agua bruta desde el depósito y la introduce en el intercambiador catiónico por la parte superior. En el caso del desendurecimiento, el agua vuelve desde aquí al depósito colector. Para desalinizar el agua se hace pasar a continuación por el intercambiador aniónico. El agua depurada fluye desde allí al depósito colector. Para la regeneración se introduce, con la misma bomba, ácido o álcali en el intercambiador correspondiente por su parte inferior.

El caudal de circulación se puede regular y se puede leer en un caudalímetro tipo rotámetro antes de la entrada al primer intercambiador iónico. Para poder evaluar el proceso en continuo, se ha instalado un sensor de conductividad antes de la entrada al depósito colector. Se pueden tomar muestras en todos los puntos relevantes. También puede utilizarse para ensayar resinas selectivas para intercambio de otro tipo de iones.



**Figura 4.** Intercambio iónico. *Arriba:* bomba de alimentación y depósito de soluciones. *Derecha:* banco de ensayos.

## 5- Proceso SBR

### Descripción:

El proceso SBR es un proceso biológico de depuración de aguas residuales, en el que, a diferencia del proceso clásico de lodos activados, cada uno de los pasos del proceso no tienen lugar de manera continua y separados físicamente, sino por lotes y de manera consecutiva. El reactor está equipado con un compresor para aeración y un mecanismo de agitación. El mecanismo de agitación garantiza, también en las fases sin aeración (desnitrificación), un mezclado suficiente. Al final, el agua depurada se extrae del reactor y se acumula en un depósito. Esto se lleva a cabo con un dispositivo flotante, como es típico en el proceso SBR. También cuenta con válvulas para toma de muestra en el fondo y a mitad del tanque.

Sobre el reactor se encuentra un dispositivo para poder dosificar una fuente de carbono externa. Cuenta con temporizadores para el compresor y el mecanismo de agitación que permiten ajustar de manera individual las fases de aeración (nitrificación) y las fases de solo mezcla (desnitrificación). Se registran la concentración de oxígeno, el valor de pH y la temperatura en el reactor. Un regulador de proceso digital muestra los valores de medición registrados y el número de revoluciones del mecanismo de agitación. El regulador de proceso dispone de una pantalla táctil y funciona además como controlador de la concentración de oxígeno durante las fases de aeración. Para la evaluación de los ensayos se deben determinar los siguientes parámetros: materia orgánica total: DBO5 o DQO o COT, concentraciones de nitrógeno: amonio / nitrito / nitrato.



Figura 5. Equipo de proceso SBR.

## 6- Tratamiento anaeróbico de aguas

### Descripción:

El banco de ensayos está compuesto básicamente por dos unidades: depósito de agitación con decantador secundario y un reactor UASB (Up flow Anaerobic Sludge Blanket). Ambas unidades se pueden utilizar por separado o combinadas. Con el funcionamiento en dos etapas, una bomba transporta primero el agua bruta a un depósito de agitación. En el depósito de agitación se realiza la acidificación de las sustancias orgánicas disueltas en el agua bruta. En este proceso, los microorganismos anaerobios transforman sustancias orgánicas de cadena larga en sustancias orgánicas de cadena corta. En un decantador secundario se separa la biomasa del agua. La biomasa separada se vuelve a bombear al depósito de agitación.

El agua bruta pre tratada se transporta del decantador secundario al reactor UASB. En este se lleva a cabo la última fase de la degradación anaerobia. Aquí se transforman las sustancias orgánicas de cadena corta anteriormente producidas en biogás mediante microorganismos específicos. La circulación en el reactor UASB es ascendente. En la parte superior del reactor UASB hay un sistema separador que permite separar el gas producido del agua depurada. Para ajustar la velocidad de flujo en el reactor UASB, puede recircularse un flujo parcial del agua depurada.

Las temperaturas en el depósito de agitación y en el reactor UASB se pueden controlar. El pH del depósito de agitación se registra y el del reactor UASB se puede regular. Para el registro de datos y el control visual existe un software y una cámara web. Para realizar los ensayos se requiere de biomasa anaerobia y equipamiento analítico. Los parámetros recomendados son: DQO (demanda química de oxígeno), nitrógeno y fósforo.



**Figura 6.** Tratamiento anaeróbico de aguas.

## 7- Proceso de lodos activados

### Descripción:

El proceso de lodos activados es el proceso biológico más importante para el tratamiento de aguas, este equipo permite estudiar este proceso de forma ilustrativa. Una bomba transporta el agua bruta contaminada con sustancias orgánicas disueltas (substrato) al tanque de aireación. Los microorganismos aerobios (lodos activados) existentes en el tanque de aireación aprovechan este sustrato como fuente de alimento y lo degradan biológicamente.

Dado que los microorganismos necesitan oxígeno, el agua se airea y mezcla con el lodo en un tanque con aireación y mezcla. A continuación, el lodo activado se separa del agua depurada en un decantador secundario. Una parte del lodo activado se recircula al tanque de aireación. También es posible la transformación de amonio en nitrato (nitrificación) y la de nitrato en nitrógeno (desnitrificación). Con un tabique separador se puede establecer en el tanque una primera zona no aireada para la desnitrificación.

Se pueden ajustar los siguientes caudales: agua bruta, lodo de retorno, recirculación interna para la desnitrificación previa y aire. La concentración de oxígeno, el pH y la temperatura se pueden controlar. Se dispone de un software para la indicación de los estados operativos y la adquisición de datos. Se pueden tomar muestras en todos los puntos relevantes. Para los ensayos se requiere de lodos activados de una estación depuradora de aguas residuales y equipamiento analítico. Los parámetros recomendados son: DBO<sub>5</sub> (demanda bioquímica de oxígeno), DQO (demanda química de oxígeno), NH<sup>+</sup> (amonio) y NO<sup>-</sup> (nitrato).



**Figura 7.** Planta de tratamiento de lodos activados.



**Figura 8.** Tanque de aireación con control de temperatura y contenido de oxígeno en planta de tratamiento de lodos activados.

## 8- Filtración de lecho profundo

### Descripción:

La filtración de lecho profundo es una operación básica importante para el tratamiento de aguas. En este equipo el agua bruta, contaminada con sólidos ingresa por arriba en un filtro por medio de una bomba. Al atravesar el lecho filtrante, se retienen los sólidos y el agua pasa saliendo por la parte inferior del filtro y colectándose en un depósito. Con el paso del tiempo se van acumulando cada vez más sólidos en el lecho filtrante. Con esto aumenta la resistencia que el lecho filtrante o pone al flujo. Este fenómeno se pone de manifiesto en una pérdida de presión creciente entre la entrada y la salida del filtro. Un lavado en sentido inverso con agua depurada limpia el lecho filtrante y reduce de nuevo la pérdida de presión. Esto permite estudiar también el fenómeno de fluidización de lechos.

El filtro está provisto de un dispositivo para medir la presión diferencial. Además, se han dispuesto varios puntos de medición de presión a lo largo del lecho filtrante. Las presiones se transmiten por mangueras a los tubos manométricos, donde se miden como columna de agua. Esto permite elaborar diagramas de Micheau. Se registran el caudal, la temperatura, la presión diferencial y la presión en el sistema. La velocidad de flujo en el lecho filtrante se puede ajustar. Se pueden tomar muestras en todos los puntos relevantes. La altura del lecho filtrante se puede leer en una escala.

Se dispone de un software (que debe utilizarse desde una PC externa) para el control de distintas condiciones de operación y para la adquisición de datos.



**Figura 9.** Equipo para el estudio de procesos de filtración de lecho profundo.

## 9- Flotación por aire disuelto

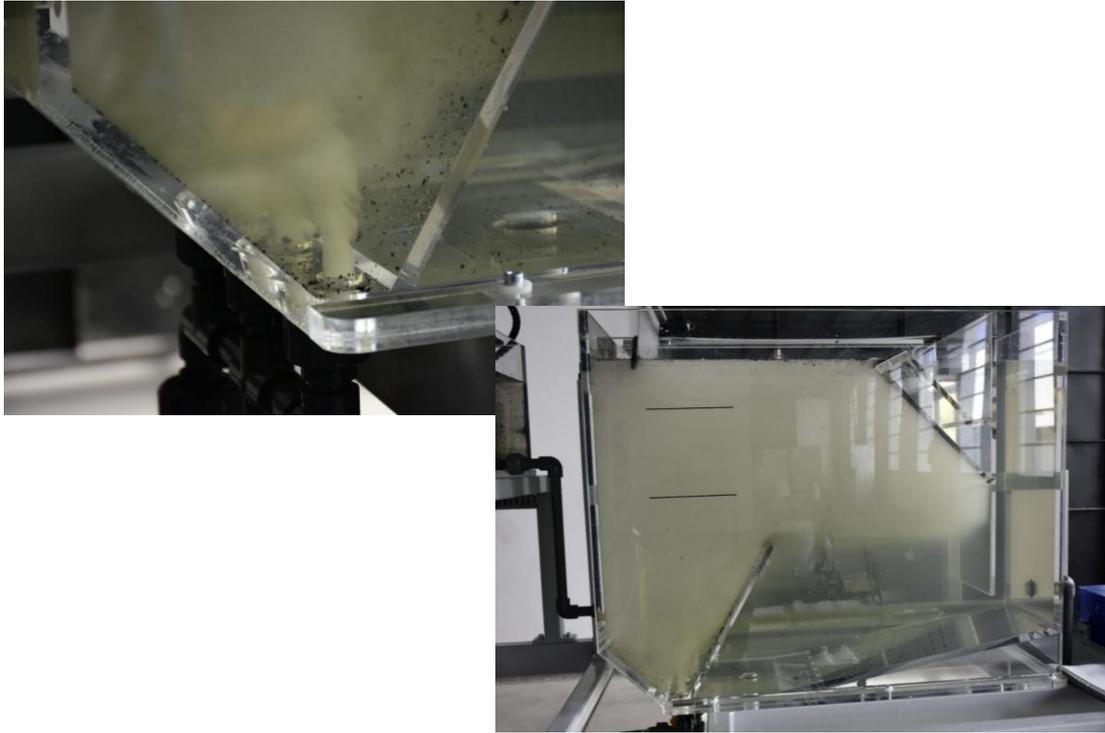
### Descripción:

El equipo permite demostrar la depuración de un agua bruta cargada de sustancias sólidas con el proceso de flotación por aire disuelto. El agua bruta fluye desde la unidad de alimentación a un depósito de floculación, dividido en tres compartimentos. Mediante la adición de un coagulante en el primer compartimento, se reducen las fuerzas de repulsión entre las partículas. Para producir flóculos de mayor tamaño se mezcla un floculante en el segundo compartimento. El coagulante reduce el pH. El equipo permite agregar hidróxido de sodio para volver a aumentar el Ph del agua. El tercer compartimento, con velocidades de flujo reducidas, permite el crecimiento de los flóculos.

El agua bruta llega al depósito de flotación desde el depósito de floculación. Una parte del agua depurada se toma del depósito de flotación y se satura con aire bajo presión. La introducción de esta agua (agua de circulación) se realiza mediante una válvula de reducción de presión para que se despresurice de golpe a la presión atmosférica. Con este proceso se producen burbujas de aire muy pequeñas que se adhieren a los flóculos disminuyendo su densidad y permitiendo que suban a la superficie. Los flóculos flotantes pueden eliminarse mediante un rascador.



**Figura 10.** Planta de flotación por aire disuelto utilizada para la remoción de partículas de carbón activado.



**Figura 11.** Micro-burbujas generadas en el tanque de flotación.