

MÉTODO DE PURIFICACIÓN DE AGUAS POR ADSORCIÓN AL CARBÓN ACTIVO

CAMPO DE LA INVENCION

5

La presente invención se refiere al campo del tratamiento de aguas, más particularmente aguas residuales, tales como aguas residuales urbanas e industriales. Más particularmente, la presente invención se refiere a un método de purificación de aguas por adsorción sobre carbón activado granular en un reactor de tratamiento de flujo ascendente y un lecho expandido.

10

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

En la actualidad, los equipos y métodos analíticos están suficientemente desarrollados para detectar en las moléculas de agua derivadas de la actividad humana, como pesticidas, herbicidas, medicamentos, etc. Estas moléculas se conocen genéricamente como "productos emergentes" o "microcontaminantes".

15

Se han desarrollado métodos para eliminar estos microcontaminantes del agua. En particular, se ha propuesto eliminar estos microcontaminantes en carbón activado en polvo (CAP) ($3\ \mu\text{m} < \text{granulometría} < 100\ \mu\text{m}$) o en grano (CAG) ($100\ \mu\text{m} < \text{granulometría} < 1000\ \mu\text{m}$). El carbón activado permite la eliminación de muchos microcontaminantes orgánicos y muchos materiales orgánicos por adsorción.

20

La eliminación de microcontaminantes por adsorción sobre carbón activado granular se puede llevar a cabo en el reactor de tratamiento como se describe en la patente FR2874913, preferiblemente para el tratamiento de aguas subterráneas y contaminación orgánica baja en la superficie.

25

En los últimos años, el tratamiento de aguas residuales es de particular interés. De hecho, el agua tratada descargada en el entorno natural debe cumplir requisitos regulatorios cada vez más estrictos, en particular debe

30

controlarse que los microcontaminantes no estén presentes más allá de ciertos límites.

Las descargas de las plantas de tratamiento de aguas residuales también afectan la calidad del recurso para la producción de agua potable. Por lo
5 tanto, es importante controlar la calidad del agua para beber.

En general, las aguas residuales se clasifican en dos categorías: aguas urbanas y aguas industriales, provenientes por ejemplo, de las industrias química y farmacéutica. Para cumplir con los requisitos regulatorios, se ha
propuesto eliminar los microcontaminantes de aguas residuales utilizando métodos
10 e adsorción de carbón activado, especialmente carbón activado granular, como se describe en la patente FR2874913. Las aguas de potabilización son una tercera categoría de agua donde los tratamientos de adsorción de carbón activado también son muy adecuados.

En los métodos de tratamiento por adsorción de carbón activado, la
15 cantidad de carbón activado que se inyectará en los reactores depende de la concentración de microcontaminantes a tratar. Para reducir el costo del tratamiento de aguas asociado con el uso de carbón activado granular, es importante que el volumen o la masa de carbón activado granular empleado en el reactor de tratamiento sea óptimo para obtener porcentaje efectivo de eliminación de
20 microcontaminantes orgánicos del agua.

Un método para controlar y/o dar seguimiento a la reducción de microcontaminantes del agua con el fin de regular las concentraciones de carbón activado necesarias para la eliminación de microcontaminantes en aguas residuales se describe en particular en la solicitud de patente FR3009789. Sin embargo, este
25 método no permite determinar el volumen o la masa óptima, es decir, necesaria y suficiente en CAG, para obtener un porcentaje de eliminación de los microcontaminantes previamente fijado.

En consecuencia, existe la necesidad de poner en funcionamiento un método de purificación de aguas que contienen microcontaminantes orgánicos por
30 adsorción sobre el carbón activado granular en un reactor de tratamiento de manera que se elimine un porcentaje de microcontaminantes previamente fijado, para

determinar específicamente la masa o el volumen de carbón activado granular óptimo (necesario y suficiente) en el reactor para obtener dicho porcentaje de eliminación de los microcontaminantes orgánicos previamente fijado.

5

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La presente invención se refiere a un método de purificación de aguas, típicamente aguas residuales, que contienen microcontaminantes orgánicos mediante adsorción sobre carbón activado granular en un reactor de tratamiento de
10 flujo ascendente y lecho expandido, para reducir un porcentaje de microcontaminantes previamente fijado, dicho método comprende al menos los siguientes pasos:

1) a partir de dicho porcentaje de reducción de microcontaminantes previamente fijado (%MP_f), la determinación del índice de tratamiento de carbón
15 activado granular (Tx) a inyectar en dicho reactor, y luego puesta en marcha del reactor de tratamiento de agua y tratamiento de adsorción de microcontaminantes sobre carbón activado granular a dicho índice de tratamiento, y

2) control de los UV del rendimiento del tratamiento de adsorción sobre carbón activado granular al índice de tratamiento (Tx) previamente definido
20 para determinar la masa o el volumen de carbón activado granular necesario y suficiente en el reactor para obtener dicho % MP_f.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS DIBUJOS

25 La figura 1 representa una modalidad particular del reactor de tratamiento usado en el método de purificación de acuerdo con la presente invención.

La Figura 2 es un gráfico que muestra el porcentaje de eliminación de microcontaminantes en las aguas con base en el rendimiento de eliminación de UV
30 por tratamiento por adsorción de carbón activado granular.

La Figura 3 es un gráfico que representa el porcentaje de eliminación de microcontaminantes en función del índice de tratamiento de carbón aplicado.

La Figura 4 es un gráfico que representa el porcentaje de eliminación de UV en función del índice de tratamiento de carbón aplicado.

5 La figura 5 es un gráfico que representa el porcentaje de eliminación UV en función del tiempo de acuerdo con una primera modalidad particular (reactor inicialmente vacío).

La figura 6 es un gráfico que representa el porcentaje de eliminación UV en función del tiempo de acuerdo con una segunda modalidad particular
10 (reactor con una carga inicial).

La figura 7 es un gráfico que representa la velocidad en ascenso, la evolución de la altura del lecho del carbón activado y la MES a la salida del reactor de tratamiento durante el lavado.

La figura 8 es un diagrama que muestra la distribución del tamaño de
15 partículas del carbón activado granular de acuerdo con una modalidad particular.

La figura 9 representa el tamaño efectivo del carbón activado granular de acuerdo con la altura del lecho de carbón.

Definiciones

20 El término "microcontaminante(s)" como se usa en la descripción de la presente invención se refiere a microcontaminantes que pueden seleccionarse entre alquilfenoles, productos farmacéuticos para uso humano o animal, hidrocarburos aromáticos policíclicos, pesticidas, herbicidas, insecticidas, ftalatos, halógenos orgánicos adsorbibles, organoestánicos, fenoles y sus combinaciones.
25 En particular, los microcontaminantes se seleccionan de pesticidas, herbicidas, ftalatos, sustancias farmacéuticas y combinaciones de los mismos. En particular, el término "microcontaminante(s)" puede referirse específicamente a sustancias farmacéuticas, especialmente sustancias farmacéuticas seleccionadas de carbamazepina, oxazepam, diclofenaco, ibuprofeno, ketoprofeno, furosemida,
30 atanolol, propanolol, sulfametoxazol y benzotriazol.

El término "agua limpia" se refiere a la condición del agua después de entrar en contacto con un lecho de carbón activado granular.

El término "agua limpia y decantada" se refiere a la condición del agua después del tratamiento de acuerdo con la presente invención.

5 El término "aguas" como se usa en la descripción de la presente invención se refiere a aguas residuales o agua a tratar.

El término "índice de tratamiento" como se usa en la presente invención se refiere a la masa de carbón activado (en gramos) en función del volumen de agua a tratar (en m³).

10

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El solicitante ha desarrollado un método para la purificación de aguas, típicamente aguas residuales, que contiene microcontaminantes orgánicos mediante adsorción sobre carbón activado granular en un reactor de tratamiento de flujo ascendente, lo que permite optimizar la masa o el volumen de carbón activado granular en el reactor, para un índice de tratamiento dado, y por lo tanto dimensionar el reactor. En particular, el método permite determinar la masa o volumen óptimo de carbón activado granular en el reactor requerido y suficiente para obtener un porcentaje de reducción de los microcontaminantes orgánicos previamente fijado (% Mw).

Por lo tanto, el presente método de purificación de aguas, típicamente agua residual, que contiene microcontaminantes orgánicos por adsorción sobre carbón activado granular en un reactor de tratamiento de flujo ascendente, a fin de reducir un porcentaje de microcontaminantes previamente fijado, que comprende la inyección de agua en la parte inferior del reactor que contiene un lecho de carbón activado para crear una expansión de dicho carbón activado a la vez que garantiza la separación por gravedad entre el agua limpia y las partículas de carbón activado y la recuperación de desbordamiento del agua limpia y decantada en la parte superior del reactor; dicho método comprende al menos los siguientes pasos:

1) a partir de dicho porcentaje de reducción de microcontaminantes previamente fijado (%MP_f), la determinación del índice de tratamiento de carbón activado granular (Tx) a inyectar en dicho reactor, y luego puesta en marcha del reactor de tratamiento de agua y tratamiento de adsorción de microcontaminantes sobre carbón activado granular a dicho índice de tratamiento, y

2) control de los UV del rendimiento del tratamiento de adsorción sobre carbón activado granular al índice de tratamiento (Tx) previamente definido para determinar la masa o el volumen de carbón activado granular necesario y suficiente en el reactor para obtener dicho % MP_f.

El control de los desempeños del tratamiento por adsorción de carbón activado granular comprende ventajosamente los siguientes pasos;

(1) medir la absorbancia a una longitud de onda λ dada del agua antes del tratamiento de adsorción sobre carbón activado granular ($A_{\lambda AvTx}$);

(2) medir la absorbancia a la misma longitud de onda λ de las aguas después del tratamiento de adsorción de carbón activado granular ($A_{\lambda ApTx}$); y

(3) calcular el rendimiento de la eliminación UV (%UV_C) a partir de las absorbancias medidas antes y después del tratamiento ($\%UV_C = ((A_{\lambda AvTx} - A_{\lambda ApTx}) / A_{\lambda AvTx}) * 100$).

Las etapas (1), (2) y (3) que permiten controlar el rendimiento de eliminación UV (%UV_C) se repiten ventajosamente a lo largo del tiempo. Ventajosamente, el control del rendimiento de eliminación UV_C se lleva a cabo de manera continua o regular. Cuando el control se lleva a cabo regularmente, se lleva a cabo ventajosamente al menos una vez al día.

Ventajosamente, el presente método de purificación de aguas, típicamente agua residual, que contiene microcontaminantes orgánicos por adsorción sobre carbón activado granular en un reactor de tratamiento de flujo ascendente, a fin de reducir un porcentaje de microcontaminantes previamente fijado, que comprende la inyección de agua en la parte inferior del reactor que contiene un lecho de carbón activado para crear una expansión de dicho carbón activado a la vez que garantiza la separación por gravedad entre el agua limpia y

las partículas de carbón activado y la recuperación de desbordamiento del agua limpia y decantada en la parte superior del reactor;

1') determinar el rendimiento de eliminación UV ($\%UV_f$) a partir de dicho porcentaje de eliminación de microcontaminantes previamente establecido ($\%MP_f$), usando la relación $\%MP=f(\%UV)$ (véase en particular la figura 2), dicha relación se determinó previamente para dichas aguas,

2') determinación del índice de tratamiento de carbón activado granular (Tx) a inyectar en dicho reactor del rendimiento de eliminación UV ($\%UV_f$), utilizando la relación $\%UV=f(Tx)$ (cf en particular Figura 4), dicha relación se determinó previamente para dichas aguas, luego la puesta el funcionamiento del reactor de tratamiento de inyección de agua y el tratamiento de adsorción de microcontaminantes sobre carbón activado granular a dicho índice de tratamiento, y

3 ') controlar mediante los UV los desempeños del tratamiento de adsorción sobre carbón activado granular en el índice de tratamiento (Tx) previamente definido de acuerdo con los siguientes pasos;

(1) medir la absorbancia a una longitud de onda λ dada del agua antes del tratamiento de adsorción sobre carbón activado granular ($A_{\lambda AvTx}$);

(2) medir la absorbancia a la misma longitud de onda λ de las aguas después del tratamiento de adsorción de carbón activado granular ($A_{\lambda ApTx}$); y

(3) calcular la eficacia de la eliminación UV ($\%UV_c$) a partir de las absorbancias medidas antes y después del tratamiento ($\%UV_c = ((A_{\lambda AvTx} - A_{\lambda ApTx}) / A_{\lambda AvTx}) * 100$).

y determinar la masa o el volumen de carbón activado granular necesario y suficiente en el reactor para obtener dicho $\%UV_f$ (que se estableció en la etapa 1')).

De acuerdo con otra modalidad, dicho índice de tratamiento del carbón activado granular (Tx) a inyectar en el reactor determinado en la etapa 2') se determina a partir de dicho porcentaje prefijado de reducción de los microcontaminantes ($\%MP_f$), usando la relación $\%MP=f(Tx)$ (cf en particular la Figura 3), dicha relación se determinó previamente para dichas aguas. En este caso, los pasos 1 ') y 3') se llevan a cabo como se indicó anteriormente.

De acuerdo con otra modalidad, dicho índice de tratamiento de carbón activado granular (Tx) a inyectar en el reactor determinado en la etapa 2 ') se determina a partir de dicho porcentaje de eliminación de los microcontaminantes previamente fijado ($\%MP_f$), usando la relación $\%MP=f(Tx)$ (Figura 3), y del
 5 rendimiento de eliminación UV ($\%UV_f$), usando la relación $\%UV=f(Tx)$ (Figura 4), dichas relaciones están previamente determinadas para esas aguas. En este caso, los pasos 1 ') y 3') se llevan a cabo como se indicó anteriormente.

Ventajosamente, el porcentaje de eliminación de microcontaminantes ($\% Mp$) fijado está entre 50 y 100% para el agua urbana.

10 Ventajosamente según la invención, el porcentaje de eliminación de microcontaminantes previamente fijado ($\%MP_f$) permite un primer tiempo para determinar el rendimiento de eliminación de UV ($\%UV_f$), usando la relación $\%MP=f(\%UV)$ (Figura 2), dicha relación se determinó previamente para dichas aguas.

15 La relación $\%Mp=f(\%UV)$ que permite determinar el rendimiento de eliminación UV ($\%UV_f$) a partir de dicho $\%MP_f$, se determina ventajosamente de la siguiente manera:

- (i) tomar muestras de tales aguas;
- (ii) seleccionar uno o más microcontaminantes orgánicos a cuantificar
 20 en dichas muestras;
- (iii) medir la concentración efectiva del (de los) microcontaminante(s) orgánico(s) seleccionado(s) en la etapa (ii) en dichas muestras y medir la absorbancia de dichas muestras a una longitud de onda λ dada;
- (iv) tratar dichas muestras por contacto con dosis crecientes de
 25 carbón activado granular;
- (v) medir, para cada dosis de carbón activado probado, la concentración efectiva de los microcontaminantes orgánicos seleccionados en la etapa (ii) en dichas muestras después del tratamiento de acuerdo con la etapa (iv);
- (vi) medir, para cada dosis de carbón activado probado, la
 30 absorbancia de dichas muestras después del tratamiento según la etapa (iv) a una longitud de onda λ dada;

(vii) determinar, para cada dosis de carbón activado probado, el porcentaje de reducción de microcontaminantes (% MP) y el rendimiento de eliminación de UV (% UV) para obtener así las relaciones $\% \text{ MP} = f(\text{Tx})$ (Figura 3) y $\% \text{ UV} = f(\text{Tx})$ (Figura 4);

5 (viii) determinar la ecuación de la relación $\% \text{ MP} = f(\% \text{ UV})$ (Figura 2), expresando el porcentaje de eliminación de microcontaminantes (% MP) como una función del rendimiento de eliminación UV (% UV). La medición de la absorbancia de las muestras antes y después de la purificación por adsorción sobre carbón activado de acuerdo con los pasos (iii) y (vi) se lleva a cabo típicamente usando un
10 espectrofotómetro.

Por lo tanto, el control del rendimiento del tratamiento por adsorción sobre el carbón activado granular corresponde al control del rendimiento de reducción de UV. Por lo tanto, este control permite verificar que el valor de eliminación de UV calculado durante el control ($\% \text{UV}_c$) corresponde al rendimiento
15 de eliminación de UV ($\% \text{UV}_f$) determinado a partir del porcentaje de eliminación de los microcontaminantes previamente fijado ($\% \text{MP}_f$) y de acuerdo con la relación $\% \text{MP} = f(\% \text{UV})$ determinada previamente.

El tratamiento de las muestras de acuerdo con la etapa (iv) se lleva a cabo poniendo en contacto las muestras con dosis crecientes de carbón activado.
20 En general, se prueban al menos cuatro dosis de carbón activado. El tiempo de contacto puede variar de 15 a 120 minutos, preferiblemente es de 60 minutos. Durante el tiempo de contacto, las muestras se agitan ventajosamente.

La medición de las concentraciones efectivas de los microcontaminantes según las etapas (iii) y (v) se lleva a cabo de acuerdo con
25 métodos bien conocidos por los expertos en la técnica. Por lo tanto, las concentraciones efectivas de los microcontaminantes seleccionados se pueden determinar mediante cromatografía líquida o fase gaseosa.

Los porcentajes de eliminación de microcontaminantes ($\% \text{Mp}_{\text{dosis1}}$, $\% \text{Mp}_{\text{dosis2}}$, $\% \text{Mp}_{\text{dosis3}}$) y los rendimientos de UV ($\% \text{UV}_{\text{dosis1}}$, $\% \text{UV}_{\text{dosis2}}$,
30 $\% \text{UV}_{\text{dosis3}}$) en función de las dosis de carbón activado granular (dosis 1, dosis 2, dosis 3) se determinan por simple cálculo. Los valores obtenidos se pueden

representar en un gráfico con la eficiencia de reducción UV abscisa y en la ordenada los porcentajes de reducción de los microcontaminantes ((%UV_{dosis1}; %Mp_{dosis1}), (%UV_{dosis2}; %Mp_{dosis2}), ((%UV_{dosis3}; %Mp_{dosis3}), etc). El gráfico finalmente nos permite determinar la ecuación de la relación que expresa el porcentaje de reducción de microcontaminantes (% Mp) como una función de la eficiencia de eliminación (% UV) (Figura 2).

Control de rendimiento

Cuando las aguas son aguas residuales industriales, por ejemplo provenientes de las industrias química o farmacéutica, el paso (ii) descrito anteriormente típicamente comprende la selección de los microcontaminantes o microcontaminantes orgánicos que el tratamiento de adsorción de carbón activado está específicamente destinado a eliminar. De hecho, a menudo se conoce la naturaleza de los microcontaminantes que probablemente estén contenidos en las aguas residuales industriales, lo que facilita el control y/o el seguimiento de estos microcontaminantes.

Además, cuando el agua son aguas residuales industriales, la purificación por adsorción de carbón activado mencionada en los pasos 1) y 2) o 2') y 3') puede realizarse aguas arriba o aguas abajo de una planta de tratamiento biológico de aguas residuales. Por lo tanto, en el método de acuerdo con la invención, las aguas residuales pueden ser aguas residuales industriales previamente limpiadas o no, por tratamiento biológico.

Cuando las aguas residuales son aguas residuales urbanas, los microcontaminantes que probablemente estén contenidos en las aguas residuales son de diversa naturaleza. Sin embargo, se ha demostrado que las aguas residuales urbanas incluyen repetidamente microcontaminantes como carbamazepina, oxazepam, diclofenaco, ibuprofeno, ketoprofeno, furosemida, atanolol, propanolol, sulfametoxazol y benzotriazol. Por lo tanto, cuando las aguas residuales son aguas residuales urbanas, la etapa (ii) descrita anteriormente incluye la selección de estos microcontaminantes y las etapas (iii) y (v) comprenden la medición de la concentración efectiva total de estos microcontaminantes. Los

microcontaminantes distintos a los enumerados anteriormente se pueden cuantificar adicionalmente.

Como parte del agua que se puede beber proviene de las descargas de las plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas o industriales, los
5 microcontaminantes encontrados recurrentemente en estas aguas residuales también se encuentran en el agua a tratar.

El método de acuerdo con la invención es particularmente adecuado para la purificación de microcontaminantes orgánicos que contienen agua tales como carbamazepina, oxazepam, diclofenaco, ibuprofeno, ketoprofeno, furosemida,
10 atanolol, propanolol, sulfametoxazol. y benzotriazol.

Ventajosamente, las medidas de absorbancia antes del tratamiento ($A_{\lambda} A_{\text{Tx}}$) y después del tratamiento ($A_{\lambda} A_{\text{Tx}}$) del agua en el reactor de tratamiento (pasos (1) y (2) o 2') y 3')) puede medirse por medio de sondas UV o fotométricas como se describe en la solicitud de patente FR3009789.

15 Ventajosamente, el índice de tratamiento de carbón activado granular (Tx) a inyectar en el reactor se determina usando las relaciones $\% \text{MP} = f(\text{Tx})$ y / o $\% \text{UV} = f(\text{Tx})$, obteniéndose dichas relaciones a partir de los pasos (i) a (vii) mencionados anteriormente.

La longitud de onda λ se selecciona preferiblemente del rango de ultravioleta (200-380 nm), preferiblemente de 200 a 300 nm. En particular, la
20 absorbancia se puede medir en 254 nm.

Típicamente, el índice de tratamiento de carbón activado granular es un índice estándar establecido para aguas residuales urbanas, el índice está entre 5 y 30g/m³, ventajosamente entre 10 y 25g/m³. Para las aguas residuales
25 industriales, el índice generalmente se determina a través de las relaciones $\% \text{MP} = f(\text{Tx})$ (Figure 3) et $\% \text{UV} = f(\text{Tx})$ (Figure 4), y típicamente está entre 50 y 1000g/m³.

Una vez que el índice de tratamiento de carbón activado (Tx) a aplicar en el reactor de tratamiento para obtener el porcentaje fijo de eliminación de
30 microcontaminantes ($\% \text{MP}_f$) se establece o determina ventajosamente a partir de las relaciones $\% \text{Mp} = f(\% \text{UV})$ y $\% \text{UV} = f(\text{Tx})$, el reactor funciona mediante

inyección de agua a una velocidad de ascenso de entre 7 y 20 m³/m².h, ventajosamente entre 12 y 15 m³/m².h, para obtener una suspensión densa de carbón activado en un reactor de tratamiento de flujo ascendente y un lecho expandido coronado por una altura de agua clara decantada.

5 De acuerdo con una primera modalidad particular, el reactor de tratamiento está inicialmente vacío. En este caso, la determinación de dicha masa o dicho volumen de carbón activado granular necesario y suficiente en el reactor para obtener dicho %MP_f establecido previamente, comprende al menos los siguientes pasos:

10 a) inyección diaria de carbón activado granular al índice de tratamiento (Tx) previamente definido en el reactor de tratamiento inicialmente vacío, y luego

b) controlar (continuamente o regularmente) de manera ventajosa al menos una vez al día, el rendimiento de eliminación de UV_c (%UV_c), y

15 c) obtener el volumen necesario y suficiente de carbón activado granular cuando dicho %UV_c es tal que: %UV_c=%UV_f ± 20%(%UV_f), ventajosamente %UV_c=%UV_f ± 10%(%UV_f), durante al menos 5 días, ventajosamente 5 a 10 días, y extracción de carbón activado granular expandido para mantener dicho volumen de carbón activado granular necesario y suficiente en
20 el reactor.

La inyección diaria de carbón activado granular en el reactor permite aumentar la cantidad de carbón activado presente en este último para acercarse a la masa o volumen necesario y suficiente para obtener el porcentaje de eliminación de los microcontaminantes orgánicos previamente fijado (% Mp) (Figura 5).

25 Por lo tanto, cuando el %UV_c varía casi con el tiempo (tal que %UV_c=%UV_f ± 20%(%UV_f) durante al menos 5 días, ventajosamente 5 a 10 días), el reactor de tratamiento se considera estabilizado y la masa o el volumen de carbón activado granular presente en el reactor es necesario y suficiente (óptimo) para obtener dicho %MP_f (Figura 5). Con el fin de preservar dicha masa o dicho
30 volumen necesario y suficiente, se lleva a cabo una extracción de carbón activado granular correspondiente a la cantidad de carbón activado granular inyectado

diariamente. La inyección y la extracción aseguran la renovación del carbón activado granular.

Ventajosamente, la inyección diaria de carbón activado granular en el reactor de tratamiento se lleva a cabo una o varias veces al día.

5 Ventajosamente, la extracción hace posible extraer el carbón activado granular desde el momento en que la masa o el volumen de carbón activado granular necesario y suficiente para obtener dicho $\%MP_f$ se ha obtenido. Ventajosamente, la extracción se lleva a cabo de 1 a 7 veces por semana.

De acuerdo con una segunda modalidad particular, el reactor contiene
10 una carga inicial de carbón activado granular para obtener al menos el porcentaje de reducción de los microcontaminantes previamente fijados ($\%MP_f$) a partir de hacer funcionar el reactor. En este caso, la determinación de dicha masa o dicho volumen de carbón activado granular necesario y suficiente en el reactor para obtener dicho $\%MP_f$ establecido previamente, comprende al menos los siguientes
15 pasos:

a') antes de la puesta en servicio del reactor de tratamiento, introducir una carga inicial de carbón activado granular en el reactor, representando dicha carga una altura del lecho de carbón de entre 20 y 50 cm, ventajosamente 30 cm, y dicha carga se elige para obtener al menos el porcentaje de eliminación de los
20 microcontaminantes previamente fijados ($\%MP_f$), luego

b') controlar (continuamente o regularmente) de manera ventajosa al menos una vez al día, la eficacia de eliminación de UV_C ($\%UV_C$),

c') cuando dicho $\%UV_C$ es tal que : $\%UV_f < \%UV_C < \%UV_f + 15\%$, inyección diaria de carbón activado granular en el reactor

25 d') controlar la eficacia de reducción de UV_C ($\%UV_C$) hasta que se obtenga el volumen necesario y suficiente de carbón activado granular cuando dicho $\%UV_C$ es tal que : $\%UV_C = \%UV_f \pm 20\%(\%UV_f)$ durante al menos 5 días, ventajosamente 5 a 10 días, y extraer carbón activado granular expandido para mantener dicho volumen de grano de carbón activado granular necesario y
30 suficiente en el reactor.

Por lo tanto, el comienzo de la inyección diaria de carbón activado en el reactor se determina mediante control UV y comienza cuando el $\%UV_c$ es tal que: $\%UV_f < \%UV_c < \%UV_f + 15\%$. Una vez que se inicia la inyección diaria de carbón activado, el control UV determina cuándo se considera óptima la cantidad o el volumen de carbón activado granular presente en el reactor (necesario y suficiente) para obtener dicho $\%MP_f$. La masa o volumen se considera óptimo cuando dicho $\%UV_c$ es tal que: $\%UV_c = \%UV_f \pm 20\%(\%UV_f)$ durante al menos 5 días, ventajosamente 5 a 10 días (Figura 6). Con el fin de preservar dicha masa o dicho volumen necesario y suficiente, se lleva a cabo una extracción de carbón activado granular correspondiente a la cantidad de carbón activado granular inyectado diariamente. La inyección y la extracción aseguran la renovación del carbón activado granular. Ventajosamente, la velocidad de tratamiento del carbón activado inyectado en la etapa c') puede aumentarse para acelerar el funcionamiento.

Ventajosamente, la inyección diaria de carbón activado granular en el reactor de tratamiento se lleva a cabo una o varias veces al día.

Ventajosamente, la extracción hace posible extraer el carbón activado granular desde el momento en que la masa o el volumen de carbón activado granular necesario y suficiente para obtener dicho $\%MP_f$ se ha obtenido. Ventajosamente, la extracción se lleva a cabo de 1 a 7 veces por semana.

El control de UV permite controlar el mantenimiento de los rendimientos del método de acuerdo con la invención.

Ventajosamente, la extracción de carbón activado granular expandido se lleva a cabo a partir de al menos dos niveles de extracción (4 y 4') (figura 1) del lecho de carbón activado. Tras la expansión del carbón activado, generalmente se crea un gradiente de concentración decreciente desde la parte inferior del reactor hacia arriba dentro del lecho de carbón activado. El gradiente de concentración varía de acuerdo con la distribución del tamaño de partícula del carbón activado utilizado.

Dado que la velocidad de decantación de los granos es proporcional a la granulometría de los granos (entre 0.3 y 1 mm) (Figura 8), la distribución de estas

partículas en el lecho se realiza desde la más grande hacia abajo hasta la más pequeña en la parte superior. (Figura 9). El tiempo de agotamiento o saturación del carbón activado es proporcional al diámetro de partícula de los granos, es importante durante la extracción mantener los granos más grandes más largos que los pequeños. Por lo tanto, cuanto mayor es el número de niveles de extracción en la altura del lecho, más se optimiza la extracción. Típicamente, se lleva a cabo una extracción de al menos dos niveles de extracción del lecho de carbón activado, un nivel que se ubica en la parte superior del lecho de carbón para extraer los granos más finos y otro nivel en la parte inferior para extraer los granos más grandes.

10 Ventajosamente, las alturas de extracción están entre 1.5 y 2 m, incluso más ventajosamente a 2 m para el nivel de extracción en la parte superior del lecho de carbón y entre 0.1 y 1 m, aún más ventajosamente a 0.5 m para el nivel de extracción ubicado en la parte inferior del lecho de carbón.

15 Ventajosamente, la frecuencia de las extracciones para el mismo volumen o masa de carbón se determina proporcionalmente en función de los tamaños de grano efectivos, es decir, típicamente una extracción para el nivel inferior y dos para el nivel superior.

20 Ventajosamente, el método de purificación según la invención comprende al menos una etapa de lavado del grano de carbón activado utilizado. Típicamente, el lavado del carbón activado puede llevarse a cabo dentro del reactor de tratamiento, en particular soplando aire y agua de lavado en la base del reactor. El circuito de suministro de agua a tratar se usa ventajosamente para la introducción de agua de lavado en la base del reactor o una bomba de recirculación además del rendimiento de alimentación. El aire de lavado se inyecta a través del mismo circuito de suministro de agua o con su propio dispositivo de rampa y de ramificación.

25 Ventajosamente, la etapa de lavar el lecho de carbón activado se lleva a cabo cuando la altura medida del lecho de carbón activado es 20% más alta que la altura teórica en estado estacionario. Típicamente, se determina una altura teórica para una velocidad dada en estado estable, la altura de expansión del lecho

depende de de la velocidad de ascenso. Ventajosamente, la medición de la altura del lecho de carbón activado se lleva a cabo diaria o continuamente.

De manera ventajosa, el lavado se realiza cuando $h_e \geq h_p + 10 \text{ à } 50\%(h_p)$, ventajosamente $h_e \geq h_p + 10 \text{ à } 20\%(h_p)$, h_e representando la altura del lecho expandido sucio y h_p la altura del lecho lavado. El lecho sucio expandido correspondiente al lecho que contiene la MES y el lecho lavado correspondiente al lecho sin la MES.

Ventajosamente, la etapa de lavado comprende una fase de expansión y una fase de decantación.

El lecho de carbón activado formado por la acumulación de dosis inyectadas tiene la capacidad de retener una gran parte de la materia en suspensión (MES) que ingresa al reactor de tratamiento. Además, la edad de este carbón activado que queda en el reactor promueve el desarrollo de una biopelícula. Es necesario evacuar esta MES y esta biopelícula porque sin extracción de esta última, un aumento en el volumen del lecho puede causar una fuga de MES y/o carbón activado. El propósito de este lavado es separar estas MES de carbón sin dañarlas. Como el carbón es un material de baja densidad (densidad aparente inferior a 0.7), la fase de expansión consiste en aplicar al lecho de carbón activado una velocidad ascendente ventajosa de entre 20 y 50 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ y más ventajosamente 30 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, lo que permite la separación del carbón activado de los sólidos en suspensión presentes en el agua y, por lo tanto, una expansión suficiente del carbón para que la MES migre por encima del lecho.

Ventajosamente, la duración de la expansión es de entre 5 y 15 minutos, ventajosamente entre 7 y 11 minutos, y ventajosamente dicho lavado se lleva a cabo de 1 a 7 veces por semana, incluso más ventajosamente de 1 a 3 veces por semana.

Una vez que se completa la fase de expansión del paso de lavado, una fase de decantación luego de una fase de vaciado de la parte superior del lecho de carbón (zona de separación (B)) (Figura 1) son necesarias para extraer la MES.

La fase de sedimentación permite decantar la MES y el carbón activado granular expandido durante la fase de expansión. De acuerdo con una modalidad particular, la fase de decantación de la etapa de lavado puede llevarse a cabo con el reactor funcionando a una velocidad de ascenso mínima de elevación que permite una decantación eficiente, siendo dicha velocidad ventajosamente menor o igual a $15 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{h}$ o con el reactor apagado. Cuando se detiene el reactor, dicho apagado tiene una duración de entre 3 y 10 minutos, ventajosamente de 5 minutos.

Después de la fase de decantación, una fase de drenaje que permite la evacuación de agua que comprende la MES se lleva a cabo típicamente hacia una estación de agua y/o una tolva de goteo de carbón desde una válvula de evacuación ubicada a una altura de drenaje (h_v) (Figura 1). Ventajosamente, la fase de vaciado tiene una duración de entre 5 y 30 minutos, ventajosamente entre 5 y 10 minutos.

Una vez que se vacía la parte de agua que comprende la MES completada, típicamente se lleva a cabo una fase de enjuague al reanudar la alimentación al rendimiento que precede a la etapa de lavado por inyección de agua en la parte inferior del reactor de tratamiento. Durante la fase de enjuague, la válvula de drenaje está abierta para permitir la evacuación de toda el agua inyectada en la parte inferior del reactor, por lo que el agua en ningún caso se desborda a través de las rampas. La fase de enjuague tiene ventajosamente una duración de entre 5 y 20 minutos, ventajosamente entre 5 y 10 minutos. Una vez que se completa esta fase de enjuague, la válvula de drenaje se cierra mientras se mantiene el rendimiento de alimentación para reanudar el tratamiento.

El lavado evita que la MES entre en el lecho y lo infla, lo que puede causar una pérdida repentina de carbón activado granular, lo que puede provocar una disminución en la calidad del tratamiento. Por lo tanto, el reactor comprende además medios de inyección (3) de nuevo carbón activado, medios de extracción (4 y 4 ') de carbón activado gastado. Los medios para extraer carbón activado gastado se incluyen generalmente en la zona de reacción (A) que comprende el lecho de carbón expandido (Figura 1).

El reactor de tratamiento:

En particular, el tratamiento puede llevarse a cabo en un reactor de tratamiento como se describe en la patente FR2874913.

5 El contacto del agua con carbón activado granular permite la eliminación de microcontaminantes orgánicos de origen natural o sintético, como los residuos de productos fitosanitarios, pesticidas, moléculas farmacéuticas, mediante la adsorción de microcontaminantes sobre las partículas de carbón activado granular.

10 Típicamente, el tratamiento se lleva a cabo en un reactor de tratamiento (1) con un lecho expandido de carbón activado granular que opera en flujo ascendente y que comprende dos zonas de operación distintas:

- una zona de reacción (A) en la parte inferior del reactor que consiste en un lecho expandido de carbón activado que asegura la eliminación de
15 microcontaminantes orgánicos por adsorción de los mismos sobre las partículas de carbón activado granular; y

- una zona de separación (B) en la parte superior del reactor que garantiza la separación y la recogida de agua limpia.

Tal reactor se muestra en la figura 1.

20 Ventajosamente, el reactor también comprende una zona desarrollada (C) situada debajo de la zona de reacción que asegura la admisión y la distribución homogénea del agua a tratar. Una rampa de distribución (2) de agua está presente en el área desarrollada.

Típicamente, el área desarrollada contiene un lecho de bloqueo, como
25 un lecho de grava coronado por un lecho de arena. El lecho de bloqueo evita que el carbón activado granular ingrese a la rampa de distribución. Además, el lecho de bloqueo asegura una distribución homogénea de agua en el fondo del reactor y asegura una suspensión homogénea del lecho de carbón activado dentro de la zona de reacción, evitando así cualquier zona de agua muerta en el fondo del
30 reactor cerca de la base del lecho de carbón. La altura del área desarrollada se basa en función de la dimensión de la altura de la rampa de distribución y su

ubicación en la parte inferior de la estructura. En particular, su altura puede estar entre 25 y 30 cm por encima de la admisión de agua.

La rampa de distribución se elige y dispone para distribuir el agua homogéneamente a la base del reactor. Una buena distribución de agua puede obtenerse particularmente cuando la rampa de distribución es un distribuidor en el que están dispuestos conjuntos de ramificaciones equidistantes y perforados con orificios a intervalos idénticos, preferiblemente dirigidos hacia el fondo quincuncinal alternado. La rampa de distribución generalmente está incrustada en un lecho de grava.

Cuando el reactor está en funcionamiento, el rendimiento de agua inyectado en la parte inferior del reactor a través de la rampa de distribución permite la suspensión (o expansión) y el mantenimiento en suspensión de carbón activado granular. En el lecho de carbón activado, particularmente en su parte inferior, la concentración de carbón activado puede alcanzar varios cientos de gramos por litro y ejercer eficazmente una acción de purificación, sin causar obstrucción o pérdida de carga, como puede ser el caso con el uso de sistemas de carbón activado de lecho fijo. Generalmente, la concentración promedio de carbón activado dentro del lecho expandido es de 100 a 450 g/l. Por lo general, es menor o igual a 2 mg/l en la parte superior de la zona de separación. La altura de la zona de separación (B) típicamente varía de 0.5 m a 2.0 m. Por lo general, está cerca de 1.5 m. Por otra parte, no es necesario agregar aditivos de tratamiento distintos al carbón, tales como coagulantes o agentes de floculación para lastrar las partículas de carbón, en el proceso de acuerdo con la presente invención. Sin embargo, en algunas modalidades, se pueden añadir agentes de coagulación o floculación aguas arriba del reactor en el agua residual para mejorar la eficacia de la eliminación de materia orgánica y microcontaminantes orgánicos.

Típicamente, la altura del lecho expandido de carbón activado granular de la zona de reacción está entre 1 y 2 m, preferiblemente 1.5 m.

La granulometría del carbón activado granular y la velocidad ascendente del agua se eligen para obtener una suspensión de carbón activado en forma de lecho expandido, superado por una altura de agua limpia correspondiente

a la zona de separación. El término "velocidad de ascenso" se refiere a la relación del rendimiento hidráulico de las aguas inyectadas en el reactor sobre la superficie del suelo del reactor de tratamiento.

Ventajosamente, la granulometría del carbón activado granular está entre 100 y 1000 μm , más ventajosamente entre 300 y 800 μm , más ventajosamente entre 600 y 800 μm . Ventajosamente, se pueden usar varios tipos de carbón activado de diferentes tamaños de gránulo o densidades en el mismo reactor (figura 8). Por lo tanto, la presente invención hace posible tratar una amplia variedad de microcontaminantes presentes en aguas con grados variables de capacidad de adsorción dependiendo de los carbones utilizados.

En una modalidad particular de la presente invención, la granulometría del carbón activado granular está entre 300 y 1000 μm , más ventajosamente entre 600 y 800 μm , y/o la velocidad de ascenso del agua varía de 7 a 20 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$, más preferiblemente de 12 a 15 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{h}$

El tiempo de contacto del agua con el carbón activado se define según la velocidad de ascenso del agua y la altura del lecho de carbón expandido. El tiempo de contacto generalmente varía de 5 a 60 minutos, ventajosamente de 5 a 30 minutos, incluso más ventajosamente de 8 a 15 minutos.

Ventajosamente según la presente invención, la elección de la granulometría del carbón en particular asociada con la elección de una velocidad de ascenso del agua particular permite una separación gravitacional de las partículas de carbón del agua limpiada con la obtención del agua limpiada y decantada en la parte superior del reactor, con muy bajo contenido de carbón activado residual.

En una modalidad particular, la inyección de nuevo carbón activado granular en el reactor típicamente se lleva a cabo por encima del lecho de carbón (en expansión), preferiblemente mediante uno o más sistemas de inyección (3) típicamente compuestos de una sección de tubería de entre 100 y 200 mm dependiendo de la cantidad de carbón activado granular que se va a introducir.

Ventajosamente, la inyección de carbón activado granular nuevo se lleva a cabo usando un hidroeyector que permite llevar el carbón activado a la parte

superior del reactor (zona de separación (B)). Los sistemas de inyección (3), en particular una o más varillas de inyección, se colocan paralelos a las paredes del reactor y se terminan por un codo de 45° que está siempre por encima del lecho de carbón activado en expansión. Típicamente, el codo está entre 1.5 y 2 m por debajo del nivel de descarga de agua de tratamiento (conductos de recuperación (5)). Típicamente, el extremo de éste o estos tubos de inyección es para formar un bisel que facilitará el flujo de carbón activado a la superficie del lecho de este carbón activado. La ventaja de este sistema radica en el hecho de que una obstrucción de este equipo es difícil o imposible.

El término "nuevo carbón activado", en contraposición al término "carbón activado gastado o expandido", se refiere al carbón activado que no ha estado en contacto con microcontaminantes orgánicos.

El agua limpia y decantada se puede recoger por desbordamiento en la parte superior del reactor. Los conductos de recuperación (5) están dispuestos en la parte superior del reactor. El reactor de flujo ascendente y de tratamiento de lecho expandido puede comprender además medios para recircular el agua que ha sido descontaminada dentro del reactor, para mantener una expansión o velocidad de fluidización suficiente que permita una expansión mínima del lecho de carbón para evitar que el reactor se degrade durante las fases de cierre de la producción.

De acuerdo con la invención, el carbón activado granular puede ser carbón regenerable o reactivable. El carbón activado granuloso usado se extrae y se almacena antes de ser enviado a los centros de reactivación o regeneración esencialmente por medios térmicos.

Ventajosamente, el método de purificación según la invención está adaptado a aguas residuales y agua a tratar, incluso más ventajosamente a aguas residuales.

EJEMPLOS

A continuación se indicarán a manera de simple ilustración dos ejemplos específicos de tratamiento de agua según el método de la presente

invención, en un reactor de tratamiento como se describe en la presente solicitud (figura 1), en relación con las figuras 1, 2, 3, 4, 5 y 6. Las condiciones particulares mencionadas a continuación han conducido a resultados particularmente satisfactorios en el contexto de esta invención.

EJEMPLO 1

Reactor inicialmente vacío

5 1) Porcentaje de reducción de microcontaminantes fijos contenidos en las aguas residuales: 70-80%;

 2) Determinación del índice de tratamiento del carbón activado granular (Tx) a inyectar en el reactor usando las proporciones % MP = f (% UV) (figura 2); % MP = f (Tx) (Figura 3) y % UV = f (Tx) (Figura 4). De acuerdo con las
10 curvas obtenidas, el porcentaje de reducción de los microcontaminantes del 70 a 80% corresponde a un porcentaje de reducción UV de aproximadamente 30% y se obtiene con un índice de tratamiento de carbón activado granular de 20g/m³;

 3) Inyección diaria de 20g/m³ (correspondiente a 120 g en el caso de esta instalación) de carbón activado granular en un reactor de tratamiento
15 inicialmente vacío sobre el lecho de carbón activado en la parte superior del reactor a través de un bastón de inyección;

 4) Control diario del rendimiento de curado UV_C(%UV_C). El gráfico en la figura 5 muestra la evolución de %UV_C a lo largo del tiempo (es decir, como una función de las masas de carbón activado granular inyectado diariamente);

20 5) Con la ayuda del gráfico de la figura 5, se observa una estabilización del rendimiento de curado UV_C, es decir %UV_C=30% ± 20% de (30) es decir %UV_C comprende entre 24 y 36%, y 36% durante al menos 5 días a partir del día 40°. La masa o el volumen de carbón activado granular en el reactor se considera óptimo, luego se lleva a cabo una extracción de carbón activado una vez
25 por semana a partir de dos niveles de extracción del lecho de carbón activado (un primer nivel está ubicado en la parte superior del lecho de carbón, el segundo nivel está ubicado a su vez en la parte inferior), la masa o el volumen de carbón extraído corresponde a la masa o volumen de carbón activado introducido entre dos extracciones.

30

EJEMPLO 2

Reactor que comprende una carga inicial de carbón activado

1 ') Porcentaje de reducción de microcontaminantes fijos contenidos en las aguas residuales: 55%;

5 2 ') Determinación del índice de tratamiento del carbón activado granular (Tx) a inyectar en el reactor usando las proporciones % MP = f (% UV) (figura 2); % MP = f (Tx) (Figura 3) y % UV = f (Tx) (Figura 4). De acuerdo con las curvas obtenidas, el porcentaje de reducción de los microcontaminantes del 55% corresponde a un porcentaje de reducción UV de aproximadamente 20% y se
10 obtiene con una velocidad de tratamiento de carbón activado granular de 15g/m³;

3 ') En el caso de la puesta a punto en la que la eficiencia de eliminación debe garantizarse inmediatamente, se introduce una carga inicial de 2.3 kg de carbón activado granular (que corresponde a una altura de lecho de 28 cm) en el reactor antes de ponerlo en funcionamiento;

15 4) Control diario del rendimiento de curado UV_C(%UV_C). El gráfico en la Figura 6 muestra la evolución de %UV_C a lo largo del tiempo;

5) Au 5^{ème} día, cuando %UV_C es tal que %UV_C=25% es decir: $20 < \%UV_C < 35\%$ ($\%UV_f < \%UV_C < \%UV_f + 15\%$), inyección diaria de 15g/m³(corresponde a 90g en el caso de esta instalación)

20 6) Utilizando todavía el gráfico de la figura 6, se lleva a cabo un control diario del rendimiento de curado UV_C hasta que se observa una estabilización del rendimiento de curado UV_C, es decir, cuando %UV_C=20% ± 20% de (20), es decir %UV_C entre 16 y 24%, durante al menos 5 días. Esta instalación se observa a partir del día 25°. La masa o el volumen de carbón activado granular en el reactor se considera óptimo, luego se lleva a cabo una extracción de carbón
25 activado una vez por semana a partir de dos niveles de extracción del lecho de carbón activado (un primer nivel está ubicado en la parte superior del lecho de carbón, el segundo nivel está ubicado a su vez en la parte inferior), la masa o el volumen de carbón extraído corresponde a la masa o volumen de carbón activado
30 introducido entre dos extracciones.

Un ejemplo de la etapa de lavado del lecho de carbón activado de acuerdo con el método de la presente invención, en conexión con la figura 7, se indicará a continuación a modo de ilustración simple.

EJEMPLO 3

5

El reactor de tratamiento según la presente invención es un reactor de tratamiento de flujo ascendente, por lo tanto, el agua a tratar que contiene MES, como en la mayoría de los casos, se produce una acumulación de estos MES. Luego se lleva a cabo un lavado que comprende las siguientes fases:

10 1) Fase de expansión: aumento de la velocidad de expansión ascendente del carbón activado granular mediante la puesta en marcha de la bomba de recirculación además del rendimiento de alimentación. Durante el lavado, la velocidad de expansión pasa de $15 \text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{h}$ a $30 \text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{h}$. Esta velocidad deseada permite la expansión necesaria y suficiente para extraer el MES del lecho
15 de carbón activado.

2) Fase de decantación: la detención de la fase de expansión del carbón activado granular correspondiente al comienzo de la fase de sedimentación se determina cuando la concentración de MES a nivel de las rampas aumenta en unos pocos mg/l (la concentración en MES pasa de 1 a 2.5 g/l en 7 minutos (figura
20 7)), midiéndose la concentración de MES mediante una sonda MES (Solitax de LANGE).

3) Fase de drenaje: la válvula a la altura de vaciado (h_v) está abierta durante 5 minutos para evacuar la parte de agua que comprende el MES correspondiente a la zona (B) (Figura 1) hacia la boca de riego.

25 4) Fase de enjuague: reanudación de la alimentación por inyección de agua en la parte inferior del reactor de tratamiento a una velocidad de ascenso de $15 \text{ m}^2/\text{m}^3\cdot\text{h}$ durante un período de 10 minutos, estando abierta la válvula de drenaje.