

## MEMORIA DESCRIPTIVA 44769

### Campo de la invención

La presente invención se relaciona con un proceso y aparato para la preparación de agua sin arsénico. Esta invención se relaciona asimismo con una cerámica porosa útil en la filtración a presión, destinada a producir agua libre de arsénico. Específicamente, esta invención se relaciona con un proceso y aparato destinados a preparar agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir del agua subterránea contaminada con arsénico y con el equipo para prepararla.

### Antecedentes de la invención

Se descubrió que el agua subterránea extraída de capas freáticas intermedias de diversos lugares de Bengala Occidental y Bangladesh contenía arsénico por sobre el límite permisible de 0,05 ppm. La Organización Mundial de la Salud ("OMS") recomendó que el límite fuera de 0,01 ppm. De esta manera el agua proveniente de pozos entubados y bombas manuales es inadecuada para beber. Por lo tanto, la contaminación del agua subterránea con arsénico se convirtió en un serio problema de salud pública, dado que el agua subterránea cubre más del 80% de las necesidades de agua potable, especialmente en el sector rural.

Se conocen diversos procesos físicos y químicos para extraer arsénico de las aguas residuales, con fines de recuperación y/o como medida de reducción de la contaminación. Es posible efectuar la separación mediante la adsorción del arsénico en el hidróxido de aluminio amorfo. Con esos medios, según se señala en el *Journal of Colloids and Interface Science*, volumen 54, N° 3, páginas 391-399, 1976, se puede obtener un tope de arsénico de 0,3 ppm, aunque es difícil una reducción adicional del contenido de arsénico.

También se sabe que mediante la precipitación con óxido de calcio y cloruro férrico la concentración de arsénico en las aguas residuales se ha reducido de 1.000



ppm a 5 ppm, según lo describen J. Hollo *et al* en *Polytech Chem Engg.* (Budapest)12(3), páginas 283-292, 1968.

La Patente japonesa 20952 (1974) describe tanto el uso de una solución de cal apagada y blanqueador, junto con cloruro de magnesio, para extraer el Arsénico (III) de las aguas residuales, en que dichas aguas tenían un contenido de 2.490 ppm de Arsénico (III), se agitaron con estos reactivos y se filtraron los precipitados; el filtrado tenía un contenido de arsénico de 3,07 ppm.

La Patente de los Estados Unidos de América 4.201.667 (1987) describe un proceso para extraer arsénico de medios acuosos en que se agrega suficiente hidróxido de calcio en presencia de fósforo con el fin de ajustar el pH del medio acuoso desde alrededor de 7,0 a 11,5, como resultado de lo cual se forman precipitados, tanto de arsénico como de fósforo, y posteriormente se separan del medio acuoso. En este proceso se informó un tiempo de agitación de hasta alrededor de 30 minutos; la separación del precipitado se puede obtener mediante filtración, sedimentación y decantación, y la sedimentación es seguida por filtración del sobrenadante. Con esta técnica, el contenido de arsénico en el agua tratada fue superior a 0,01 ppm.

Se hace referencia asimismo a publicaciones por Prasun Bhattacharyya *et al* y S. Bhattacharyya *et al* en las actas del Taller Internacional sobre "Control de la contaminación por arsénico en aguas subterráneas", celebrado el 5-6 de enero, 2.000, publicado por PHED, Gobierno de Bengala Occidental, en que se usó laterita como un adsorbente en el tratamiento de agua contaminada con arsénico. En las actas arriba mencionadas, Prasum Bhattacharyya *et al* informaron que la eficiencia varió entre 50 – 90% para 5 gramos de laterita agregada por 100 ml de agua, en un período de equilibrio de 20 minutos. S. Bhattacharyya *et al* informaron que 0,2 g de mineral de laterita pueden absorber 67,4% y 61,3% de arsénico desde una solución de 100 ml de 0,27 ppm As(III) o 0,182 ppm de As(V), considerándose óptimo un tiempo de agitación



de 5 minutos para 0,4 g de mineral de laterita y una solución de 100 ml de las concentraciones ya mencionadas de Arsénico (III o V).

Se hace referencia asimismo a la publicación del *Environmental Systems Information Center*, Asian Institute of Technology, marzo 1996, sobre "*Drinking Water without Arsenic : A Review of Treatment Technology*", por T. Viraraghavan, K.S. Subramanian y TV Swaminathan, en que se señalaron las ventajas y desventajas de diversas opciones de la tecnología. Las técnicas convencionales para el tratamiento del agua contaminada con arsénico se basan principalmente en un tratamiento químico o en una técnica de co-precipitación y una técnica de adsorción, que han sido ensayadas en condiciones del terreno usando agua subterránea que contiene arsénico en el rango del nivel de 0,1 – 1 ppm . Se constató que el nivel de arsénico en el agua tratada estuvo sobre el límite recomendado por la OMS, de 0,01 ppm de contenido de arsénico en el agua potable. La técnica de co-precipitación sufre de las desventajas, por ejemplo, de controlar la dosis de sustancias químicas, la mezcla ineficaz de sustancias químicas y agua contaminada, la tasa más lenta de sedimentación de las partículas finas de los materiales de precipitación, la filtración ineficaz de partículas finas mediante filtro de arena lento o rápido. Por estas razones, la eficiencia en la eliminación del arsénico es menor en especial en el rango de más alta concentración de arsénico (sobre 0,5 ppm) del agua contaminada y el contenido de arsénico después del tratamiento es mayor que el límite de 0,01 ppm de arsénico en el agua potable que recomienda la OMS. Los inconvenientes de la técnica de adsorción de alúmina activada son los insuficientes tiempos de contacto, revestimiento de granos de alúmina por partículas finas de hierro presente en el agua cruda -reduciendo así la eficiencia de la adsorción y la necesidad de un enjuague frecuente- y desviando el problema de la contaminación del agua a la contaminación del suelo, que constituye una preocupación más grave para la contaminación ambiental, especialmente en la cercanía de una planta de tratamiento.



Los métodos y equipos que existen para eliminar el arsénico revelaron que existe una clara necesidad de mejoramiento en la producción de agua potable segura, según la recomendación de la OMS.

Se conoce el uso de la cerámica porosa para la separación de materia particulada suspendida presente en corrientes líquidas y gaseosas, pasando la misma a través de los tubos y placas de cerámica porosa para aplicar filtración a presión. Otro uso importante de dicho material de cerámica porosa es la preparación de membranas cerámicas que consisten en un revestimiento de partículas más finas sobre la matriz de cerámica porosa destinado a formar una estructura compuesta de un tamaño escalonado de poro, que se usa principalmente en aplicaciones de micro, ultra y nano filtración.

Se puede hacer referencia a la Patente N° 126508, en que las materias primas que se usaron para la preparación de bujías de cerámica porosas eran granos de sílice más gruesos y angulares y una arcilla producida en forma natural con muchas impurezas, las que causan una distribución amplia del tamaño de poros, deficiente resistencia y formación de una matriz vítrea inadecuada para la limpieza mediante álcalis potentes y vapor a alta presión. Las desventajas de los filtros de bujías de cerámica porosa convencionales son:

1. Tamaño más grande de poros, los que varían en el rango de 5-30  $\mu\text{m}$ .
2. Debido a dicha amplia distribución del tamaño de poros, la eficiencia de la separación es mucho menor y la posibilidad de que los poros se obstruyan es muy alta debido a la penetración de las partículas suspendidas más finas que presentan problemas frecuentes para la limpieza.
3. Las partículas suspendidas de tamaños relativamente menores pasan a través de un tamaño mayor del poro de la bujía porosa cuando la filtración tiene lugar a la presión atmosférica.



A fin de superar este problema, se han elaborado cartuchos de materiales poliméricos, que tienen una piel integral de tamaños de poros más finos, según se describe en la referencia de Porter, M.C., 1990, "*Handbook of Industrial Membrane Technology*", Noyes Publication, Park Ridge , NJ. No obstante, dichos materiales adolecen también de algunas limitaciones tales como:

1. Deficiente estabilidad química
2. Bajo grado de abrasión
3. Poca durabilidad ante el ataque de microbios

Los materiales de cerámica poseen varias ventajas claves de operación sobre su contraparte polimérica, debido a las cuales la cerámica porosa está ganando una importancia considerable en aplicaciones industriales. Se puede hacer referencia al documento "*The Control of Pore Size in the Manufacture of Ceramic Filters*", preparado por R.A. Clark, M.F. Hall y J.W. Kirk, en", N° 43, diciembre 1988, Institute of Ceramics, U.K., en que la técnica adoptada para la fabricación de filtros cerámicos utiliza partículas de alúmina no plásticas de diferentes tamaños y con formas irregulares, siguiendo las teorías de empaque de partículas de diferentes rangos de tamaños de grano para controlar la porosidad y tamaño del poro en el filtro. Las desventajas de este proceso son el uso de materias primas costosas, dificultades en la fabricación de componentes no plásticos mediante moldeo de listones, empleo de equipo costoso, como ser una máquina extrusora, así como la necesidad de un encendido a alta temperatura, superior a 1.550°C, lo que se traduce en un costo más alto de filtros.

#### Objetos de la invención

El objeto principal de la invención es proporcionar un proceso para elaborar cerámica porosa destinada a la filtración bajo presión, lo que obvia las desventajas arriba mencionadas.

Otro objeto de la invención es suministrar cerámica porosa de un tamaño controlado de poros en el orden de 1 – 15  $\mu\text{m}$ .



Otro objeto de la invención es suministrar un proceso para reducir el costo de producción usando materias primas relativamente más económicas, una técnica más fácil de fabricación y una más baja temperatura de encendido.

Otro objeto de la invención es ofrecer un proceso para preparar agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir del agua subterránea contaminada, lo que obvia las desventajas de los procesos conocidos hasta la fecha.

Otro objeto de la invención es suministrar un aparato para producir agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir de agua subterránea contaminada.

Aún otro objeto de la invención es proporcionar un aparato para eliminar el lodo enriquecido con arsénico generado después del tratamiento del agua contaminada.

Otro objeto de la invención consiste en un aparato en que se incorpora la provisión de limpieza periódica de los filtros de cerámica, a fin de hacer posible la regeneración y reutilización de los mismos. *la X*

#### Resumen de la invención

Por consiguiente, la presente invención propone un proceso para preparar agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir de agua contaminada con arsénico, que comprende mezclar agua contaminada con arsénico con una suspensión homogénea de un medio acuoso que contiene esencialmente partículas finas de un tamaño menor que 20  $\mu\text{m}$  de un medio adsorbedor del arsénico; circular la mezcla resultante bajo presión en el orden de 0,1 a 3  $\text{kg}/\text{cm}^2$  a través de uno o más tubos de filtración presurizados de cerámica porosa con un tamaño de poros que fluctúan desde 1 a 10  $\mu\text{m}$ , y tienen un pre-revestimiento con un espesor de al menos 10  $\mu\text{m}$  de dicho medio adsorbedor de arsénico.

En una ejecución de la invención, la concentración del medio adsorbedor del arsénico es menor que 5.000 ppm.

En otra ejecución de la invención, el medio de adsorción del arsénico empleado para efectuar la suspensión se selecciona del grupo que consiste de hidróxidos, oxi-



hidróxidos y fosfatos, ya sea de hierro, aluminio, manganeso, calcio y magnesio, fosfato de hidrógeno y fosfato de amonio.

En otra ejecución de la invención, el agua contaminada con arsénico es el agua subterránea contaminada con arsénico.

La presente invención se relaciona también con un aparato destinado a la producción de agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir de agua contaminada con arsénico. Dicho aparato comprende un estanque mezclador (1) que contiene esencialmente una suspensión de un medio de adsorción de arsénico (2). Dicho estanque dispone de una entrada (9) para el agua subterránea contaminada con arsénico que se va a tratar, y una salida (10) para descarga; dicha salida (10) está conectada a través de una bomba (3) con un rociador de retroalimentación (11) al estanque mezclador (1) y uno o más módulos de filtración a presión (4). Cada uno de dichos módulos (4) aloja uno o más tubos cerámicos de filtración a presión (5), encajados de manera de permitir la descarga del agua filtrada a través de una salida (7), en que dicho módulo de filtración a presión está también provisto de una conexión de retroalimentación (8) al estanque mezclador (1),

En una ejecución de la invención, la salida (10) es una válvula dispuesta entre el estanque mezclador y la bomba.

En otra ejecución de la invención, los tubos de filtración a presión hechos de cerámica porosa tienen un tamaño de poros del orden de 1 a 10  $\mu\text{m}$ , y un pre-revestimiento (6) de espesor de al menos 10  $\mu\text{m}$  del medio adsorbente de arsénico (2).

Aún en otra ejecución de la presente invención, se suministra un filtro de bujía poroso para atrapar el lodo saturado enriquecido con arsénico.

En otra ejecución de la invención el proceso para la preparación del agua libre de arsénico comprende los siguientes pasos:

1. Poner una suspensión de partículas finas en agua;



2. Disponer una serie de tubos de cerámica porosos pre-revestidos con un medio que contiene arsénico dentro de un tubo de acero equipado con tubos de entrada y salida para formar un módulo de filtro;
3. Agregar agua contaminada con arsénico a la suspensión acuosa de partículas finas y bombear la mezcla a través del módulo de filtros bajo una presión de 0,1 – 3 kg/cm<sup>2</sup>, aplicando la técnica de filtración del flujo transversal con el fin de producir agua filtrada.

La presente invención se relaciona también con un proceso destinado a elaborar cerámica porosa para filtración a presión, que comprende la mezcla de 40 a 90% en peso de un material no plástico en polvo, seleccionado del grupo consistente de óxidos metálicos, hidróxidos metálicos, silicatos metálicos y cualquier mezcla de los mismos; 10 a 60% en peso de un material plástico en polvo que comprende alúminosilicatos que se forman de manera natural y contienen impurezas seleccionadas del grupo que consiste de sosa, potasa, óxido de calcio y óxido de hierro de menos de 2,5% en peso; 0 a 15% en peso de agentes formadores de poros; 0 a 2% de aditivos como magnesia, titanía, óxido de zinc; agua desionizada; defloculantes y aglomerantes en un nivel de concentración de 0,5 a 2,0% en peso/volumen de agua; envejecer, si es necesario para obtener un listón moldeado, moldear para dar forma, almacenar el molde formado bajo una condición de humedad por un período de 12 a 48 horas, secar al aire por un lapso de 12 a 48 horas, secar en una estufa a una temperatura que fluctúa entre 40 a 150°C por un período de 12 a 24 horas; someter el molde secado a un calentamiento a la tasa de 60 a 150°C por hora a una temperatura en el orden de 800 a 1.000°C durante una a seis horas, seguido por calentamiento a una temperatura en el orden de 1.300 a 1.500°C durante una a seis horas; enfriar el molde resultante a la temperatura ambiente, a la tasa de 60 a 150°C por hora.



En una ejecución de la invención, el óxido metálico, hidróxido y silicatos usados se seleccionan entre un grupo consistente de alúmina, boehmita, zirconia, zirconia estabilizada por itria, mullita, cianita calcinada, sillimanita, diaspora y arena de playa con granos redondeados y subredondeados en un rango de tamaño de 1 a 75  $\mu\text{m}$  y una cantidad máxima de impurezas, tales como óxido de álcali y óxido de hierro hasta de 0,5% en peso.

En otra ejecución de la invención, los materiales de sílico-alúmina empleados son seleccionados del grupo que consiste en caolinita, montmorillonita e illita, que contienen menos de 2,5% en peso de impurezas como sosa, potasa, óxido de calcio y óxido de hierro.

Todavía en otra ejecución de la invención, los defloculantes y aglomerantes usados se seleccionan del grupo que comprende alcohol polivinílico, Darvan-7, sal sódica de carboximetil celulosa, alginato sódico, sales de ácido poliacrílico y amida poliacrítica parcialmente hidrolizada.

Igualmente, en otra ejecución de la invención, la relación del tamaño promedio del grano de los componentes plásticos y no plásticos usados es del orden de 0,04 a 0,53 con el objeto de producir un tamaño del poro en el orden de 1 a 15  $\mu\text{m}$ .

Aún en otra ejecución de la invención, la proporción de los ingredientes plásticos y no plásticos empleados puede encontrarse en una relación de 0,11 a 1,5, de tal manera que hay por lo menos 10 - 30% en peso de partículas más finas con un tamaño menor que 1,0  $\mu\text{m}$  presentes en la mezcla.

En otra ejecución de la invención, los agentes formadores de poros utilizados comprenden 0 a 15% en peso de materiales combustibles con no más de 5% en peso de contenido de ceniza; por ejemplo, polvo fino de piedra, serrín, carbono, carbón de leña, materiales poliméricos con un tamaño de partícula inferior a 20  $\mu\text{m}$ .



En otra ejecución de la presente invención la mezcla se efectúa en una botella plástica o en un recipiente revestido de alúmina durante un período de 4 a 24 horas para formar una pulpa cuya viscosidad está en el rango de 100 a 1.000 cP.

#### Breve descripción de los dibujos adjuntos

La Figura 1 es una representación esquemática del aparato de la invención.

#### Descripción detallada de la invención

Los pasos del proceso de la presente invención se describen a continuación.

- 1) Preparación de pulpa en agua de los componentes no plásticos como ser óxido, hidróxidos, silicatos metálicos, una combinación de aditivos, componentes plásticos, por ejemplo alúmino silicatos, formadores de poros como materiales combustibles, aglomerantes y defloculantes.
- 2) El moldeado en las formas requeridas como ser placas o tubos de 100 mm de longitud o diámetro y alrededor de 2 mm de espesor, tubos con un espesor de pared de alrededor de 1,5 a 4,0 mm, poros de 9 a 37  $\mu\text{m}$ , seguido por la combustión de rellenos orgánicos, que causan un problema. Algunas veces ocurre también hinchazón, horadación, ondulación de la superficie, como resultado de la emisión excesiva de gases a través de zonas más débiles durante el encendido, así como el rápido drenaje del listón, moldes de yeso defectuosos y otras razones. La presencia de impurezas fundibles produce una formación excesiva de vidrio, perturbando así la naturaleza porosa de la matriz. Las características cruciales de la presente invención consisten en aplicar la teoría de empaque usando granos de tamaño angosto del componente no plástico y llenar el espacio intergranular de las partículas sin comprometer una disminución de la porosidad y resistencia. Los demás parámetros incluyen la mezcla homogénea, control del nivel de impurezas y la temperatura de concreción.

Durante el proceso de la presente invención, los agentes formadores de poros como el polvo fino de piedra, serrín, carbono, carbón vegetal, se usan en un orden de 1



- 15% en peso, lo que crea vacíos en la matriz después del encendido a una temperatura comprendida entre 1.300 y 1.500°C. En la presente invención, es necesario controlar la relación de los componentes plásticos y no plásticos en el orden de 0,11 a 1,5 así como controlar la relación del tamaño promedio del grano, de 0,04 a 0,53 para producir el tamaño de poros antes mencionado, del orden de 1 – 15  $\mu\text{m}$ , de acuerdo con los requerimientos deseados.

Las cerámicas porosas se fabrican mezclando 40 a 90% en peso de material pulverizado no plástico, como ser óxidos de metal, hidróxidos de metal y silicatos de metal o cualquier mezcla de los mismos; 10 a 60% en peso de material pulverizado plástico, tal como sílico-alúminas que se forman naturalmente y contienen impurezas como la sosa, potasa, óxido de calcio y óxido de hierro en menos de un 2,5% en peso; 0 a 15% en peso de agentes formadores de poros; 0 a 2% de aditivos, como magnesia, titanía, óxido de zinc; agua desionizada, defloculantes y aglomerantes, en un nivel de concentración de 0,5 a 2,0% en peso/volumen de agua; envejecimiento, si así se requiere, a fin de obtener un listón moldeado, darle forma, almacenarlo en condición húmeda por un período de 12 a 48 horas, secar al aire durante un período de 12 a 48 horas, secar en estufa a una temperatura del orden de 40 a 150°C por un período de 12 a 24 horas; someter el molde secado a un calentamiento a la tasa de 60 a 150°C por hora a una temperatura en el rango de 800 a 1.000°C durante una a seis horas, seguido por calentamiento a una temperatura que fluctúa entre 1.300 y 1.500°C durante una a seis horas; enfriar el molde resultante a la temperatura ambiente a la tasa de 60 a 150°C por hora.

El óxido de metal, hidróxido y silicatos utilizados pueden corresponder a la alúmina, boehmita, zirconia, zirconia estabilizada por itria, mullita, cianita calcinada, sillimanita, diaspóra, arena de playa con granos redondeados y subredondeados en un rango de tamaño de 1 a 75  $\mu\text{m}$ , que contienen una cantidad máxima de impurezas, como ser óxido de álcali y óxido de hierro de menos de 0,5% en peso. Los materiales



de alúmino silicatos usados pueden ser caolinita, montmorillonita, illita con impurezas como sosa, potasa, óxido de calcio, óxido de hierro menores que 2,5% en peso. Es posible emplear defloculantes y aglomerantes como ser alcohol polivinílico, Darvan-7, sal de sodio de carboximetil celulosa, alginato de sodio, sales del ácido poliacrílico y amida poliacrílica parcialmente hidrolizada.

La proporción del tamaño promedio de grano de los componentes plásticos y no plásticos utilizados puede encontrarse entre 0,04 y 0,53 para producir el tamaño de poro que fluctúa entre 1 y 15  $\mu\text{m}$ . La proporción de ingredientes plásticos y no plásticos utilizada puede ser de 0,11 a 1,5, de manera que por lo menos hayan partículas más finas entre 10 y 30% en peso con un tamaño menor que 1,0  $\mu\text{m}$  presentes en la mezcla. Los agentes formadores de poros pueden corresponder a materiales combustibles de entre 0 y 15% en peso, con un contenido no mayor de ceniza que 5% en peso, tal como polvo fino de piedra, serrín, carbón, carbón vegetal, materiales poliméricos con un tamaño de partícula inferior a 20  $\mu\text{m}$ .

La mezcla se efectúa preferentemente en una botella plástica o un recipiente forrado con alúmina durante un período de 4 a 24 horas, para formar una pulpa cuya viscosidad es del orden de 100 a 1.000 cP.

A continuación se describen los pasos del proceso de la presente invención.

a) Preparación de la pulpa en agua de componentes no plásticos, como ser óxidos, hidróxidos, silicatos de metal, una combinación de aditivos, componentes plásticos, por ejemplo alúmino silicatos; formadores de poros como ser materiales combustibles, aglomerantes y defloculantes.

b) Moldeado en las formas requeridas, como placas o tubos de 100 mm de longitud o diámetro y con alrededor de 2 mm de espesor; tubos con un grosor de pared de alrededor de 1,5 a 4,0 mm; poros de 9 a 37  $\mu\text{m}$ , que luego de la combustión de rellenos orgánicos causan un problema. En ocasiones también se produce hinchazón, horadación, ondulación superficial debido a



una excesiva emisión de gases a través de las zonas más débiles durante el encendido y también un drenaje rápido del listón o tira, los moldes de yeso defectuosos y otras razones. La presencia de impurezas fundibles se traduce en la formación excesiva de vidrio, lo que perturba la naturaleza porosa de la matriz. Las características esenciales de la presente invención consisten en aplicar la teoría del relleno usando granos de tamaño angosto del componente no plástico y llenando el espacio intergranular de las partículas sin comprometer la disminución de la porosidad y resistencia. Los otros parámetros incluyen un mezclado homogéneo, el control del nivel de impurezas y la temperatura de concreción o sinterización.

Se da forma a las cerámicas porosas según se requiera para que la filtración bajo presión tenga tamaños de poro controlados, del orden de 1 a 15  $\mu\text{m}$ . Otra novedad radica en que el proceso es económico, puesto que implica el uso de materias primas más baratas y encendido a más baja temperatura.

Las características novedosas señaladas se han obtenido como resultado directo de los pasos siguientes:

1. Uso de un componente no plástico con granos redondeados o subredondeados, tamaño de grano controlado y más baja pureza.
2. Uso de mayores cantidades de componentes no plásticos.
3. Control de las propiedades reológicas del listón o tira al mezclar los componentes con adición de agua y regular la dosis de defloculantes y aglomerantes.
4. Encendido del molde a una menor temperatura del orden de 1.300 a 1.500°C.

El equipo de la presente invención se puede limpiar como sigue:

- 1) Cuando las partículas finas dejan de ser capaces de adsorber especies de arsénico, la suspensión es bombeada a través de filtros de bujía que se guardan separadamente bajo presión atmosférica normal, a fin de atrapar las partículas



enriquecidas con arsénico, para su eliminación después de cementar dentro de los bloques huecos.

- 2) Cuando el revestimiento cerámico de las partículas finas sobre la pared interna de los tubos cerámicos porosos también se agota, se podrá dejar que los tubos se sequen durante alrededor de una semana, para desprender la capa seca resultante de la formación de grietas de lodo y entonces se lavan con agua limpia antes de aplicar una nueva capa de revestimiento.
- 3) Cuando se bloquean los tubos porosos debido al uso prolongado, podrá ser necesario enjuagar con una solución de 0,1 a 5 N de ácido clorhídrico e hidróxido de sodio, seguida por lavado con agua corriente.

El proceso y equipo de la presente invención eliminan exitosamente el arsénico, hasta un nivel inferior a 10 ppb del agua subterránea contaminada con arsénico para entregar agua potable segura. La novedad de la invención, al conseguir un nivel menor que 10 ppb de arsénico, es mucho mejor que el límite prescrito por BIS (Bureau of Indian Standards), de 50 ppb de arsénico, y mejor que el límite recomendado por la Organización Mundial de la Salud (OMS), de 10 ppb de arsénico en el agua potable. El proceso de eliminación del arsénico se efectúa mediante los siguientes pasos inventivos:

- 1) Tratar el agua subterránea contaminada con arsénico mezclando con una suspensión homogénea de un medio que adsorbe el arsénico.
- 2) Circular bajo presión la mezcla de agua contaminada y suspensión del medio que adsorbe el arsénico a través de tubos cerámicos porosos para filtración a presión, los que están previamente revestidos con el medio adsorbente del arsénico.

Se dan a continuación a título ilustrativo algunos ejemplos, los cuales no deben interpretarse en el sentido de que limitan el alcance de la presente invención.

#### Ejemplo 1



Se preparó en un estanque mezclador con capacidad para 10 litros, 600 ml de suspensión de 1.200 ppm de hidróxido férrico con un tamaño menor que 20  $\mu\text{m}$  en agua subterránea. Se agregó la suspensión al estanque de mezclado provisto de una salida conectada con una bomba de 1/4 HP de capacidad, a una velocidad de descarga de 30 litros por minuto. El extremo de descarga de la bomba se conectó con un tubo de cerámica porosa para filtrar a presión, cuyo diámetro externo era de 10 mm y 300 mm de longitud. El otro extremo de dicho tubo de cerámica se conectó con un tubo de acero inoxidable a través de un manómetro y una válvula, la cual se conectó con el estanque mezclador. El tubo filtro presurizado fue encajado con un tubo plástico transparente a prueba de filtraciones, de manera que éstas no ocurren en los puntos de unión y se obtuvo el agua filtrada a través de la superficie externa del tubo filtro presurizado. Se hace pasar la suspensión de hidróxido férrico a través del tubo durante alrededor de una hora para formar un revestimiento con un espesor de más de 10  $\mu\text{m}$  de hidróxido férrico en la pared interna del tubo. Se agregaron 1.200 ml de una solución de arsénico de 7,5 ppm en la forma de arseniato de sodio, a la suspensión de hidróxido férrico para mantener 5 ppm de arsénico y 400 ppm de hidróxido férrico en la pulpa. Se bombeó la pulpa a través del tubo filtro presurizado a una presión de 2  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y se recogió el agua filtrada. El contenido de arsénico del agua filtrada se determinó mediante espectrometría de absorción atómica, encontrándose que estaba por debajo de su límite de detección (<2 ppb). Se vio que la velocidad de filtración alcanzaba alrededor de 500  $\text{litros}/\text{m}^2/\text{hora}$ .

### Ejemplo 2

En un estanque mezclador con capacidad para 10 litros se preparó una mezcla de 200 ml de una suspensión de 720 ppm de hidróxido de aluminio con un tamaño menor que 15  $\mu\text{m}$  de agua subterránea. Se agregó la suspensión al estanque mezclador, que está provisto de una salida conectada con una bomba de 1/4 HP de capacidad, a una velocidad de descarga de 30 litros por minuto. El extremo de descarga



de la bomba se conectó con un tubo cerámico poroso para filtrar a presión de 300 mm de longitud y cuyo diámetro externo medía 10 mm. El otro extremo del tubo cerámico se conectó a un tubo de acero inoxidable a través de un manómetro y una válvula conectada a su vez con el estanque mezclador. Se encajó el tubo filtro presurizado dentro de un tubo plástico transparente a prueba de filtraciones, de manera que éstas no ocurrieran en los puntos de unión, obteniéndose agua filtrada a través de la superficie externa del tubo de filtro presurizado. Se pasó la suspensión de hidróxido de aluminio a través del tubo durante una hora aproximadamente, para formar un revestimiento de más de 10  $\mu\text{m}$  de espesor de la capa de hidróxido de aluminio en la pared interna del tubo cerámico, agregándose a la suspensión 1.300 ml de una solución de 7 ppm de arsénico en forma de arseniato de sodio, que se añadió a la suspensión de hidróxido de aluminio para mantener 5 ppm de arsénico y 200 ppm de hidróxido de aluminio en la pulpa. Se bombeó la pulpa a través del tubo filtro presurizado a una presión de 1,5  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y se recogió el agua filtrada. El contenido de arsénico del agua filtrada se determinó mediante espectrometría de absorción atómica, encontrándose que estaba por debajo de su límite de detección (<2 ppb) y la velocidad de filtración fue de alrededor de 300 litros/ $\text{m}^2$ /hora.

### Ejemplo 3

En un estanque mezclador de 10 litros de capacidad se preparó una suspensión de 400 ml de agua subterránea que contenía 200 ml de hidróxido férrico (2.700 ppm) de menos de 20  $\mu\text{m}$  y 200 ml de hidróxido de aluminio de 2.700 ppm con un tamaño menor que 15  $\mu\text{m}$ . Se agregó la suspensión al estanque mezclador, que está provisto de una salida conectada con una bomba de 1/4 HP de capacidad, a una velocidad de descarga de 30 litros por minuto. El extremo de descarga de la bomba se conectó con un tubo cerámico poroso para filtrar a presión de 300 mm de longitud y cuyo diámetro externo medía 10 mm. El otro extremo del tubo cerámico se conectó a un tubo de acero inoxidable a través de un manómetro y una válvula conectada a su vez con el



estanque mezclador. Se encajó el tubo filtro presurizado dentro de un tubo plástico transparente a prueba de filtraciones, de manera que éstas no ocurrieran en los puntos de unión, obteniéndose agua filtrada a través de la superficie externa del tubo filtro presurizado. Se pasó la suspensión de hidróxido férrico e hidróxido de aluminio a través del tubo durante una hora aproximadamente, para formar un revestimiento de más de 10  $\mu\text{m}$  de espesor de la capa que contiene hidróxido férrico e hidróxido de aluminio en la pared interna del tubo cerámico, agregándose a la suspensión de hidróxido férrico e hidróxido de aluminio 1.400 ml de una solución con 6,5 ppm de arsénico en forma de arseniato de sodio para mantener 5 ppm de arsénico y 300 ppm cada una de hidróxido férrico e hidróxido de aluminio en la pulpa. Se bombeó la pulpa a través del tubo filtro presurizado a una presión de 2  $\text{kg}/\text{cm}^2$  y se recogió el agua filtrada. El contenido de arsénico del agua filtrada se determinó mediante espectrometría de absorción atómica, encontrándose que estaba por debajo de su límite de detección (<2 ppb) y la velocidad de filtración fue de alrededor de 500  $\text{litros}/\text{m}^2/\text{hora}$ .

#### Ejemplo 4

En un estanque mezclador de 50 litros de capacidad se preparó una suspensión de 4 litros de 900 ppm de hidróxido férrico con un tamaño de <5  $\mu\text{m}$  en agua subterránea. Se agregó la suspensión al estanque mezclador, que está provisto de una salida conectada con una bomba de 1/2 HP de capacidad, a una velocidad de descarga de 45 litros por minuto. El extremo de descarga de la bomba se conectó con un tubo cerámico poroso presurizado de 200 mm de longitud y un diámetro interno de 25 mm. El otro extremo del tubo cerámico se conectó a un tubo de acero inoxidable a través de un manómetro y una válvula conectada a su vez con el estanque mezclador. Se encajó el tubo filtro presurizado dentro de un tubo plástico transparente a prueba de filtraciones, de manera que éstas no ocurrieran en los puntos de unión, obteniéndose agua filtrada a través de la superficie externa del tubo filtro presurizado. Se pasó la



suspensión de hidróxido férrico a través del tubo durante aproximadamente 10 minutos, para formar un revestimiento de más de 10  $\mu\text{m}$  de espesor de la capa de hidróxido férrico en la pared interna del tubo cerámico. Se agregaron 14 litros de una solución de arsénico de 1,0 ppm, en la forma de arseniato de sodio a la suspensión de hidróxido férrico, para mantener 0,8 ppm de arsénico y 200 ppm cada una de hidróxido férrico en la pulpa. Se bombeó la pulpa a través del tubo filtro presurizado a una presión de 1  $\text{kg/cm}^2$  y se recogió el agua filtrada. El contenido de arsénico del agua filtrada se determinó mediante espectrometría de absorción atómica, encontrándose que estaba por debajo de 10 ppb y la velocidad de filtración fue de alrededor de 3,75 litros por hora.

#### Ejemplo 5

En un estanque mezclador de 1.000 litros de capacidad se preparó una suspensión de 300 litros de una suspensión de 4.000 ppm de hidróxido férrico con un tamaño menor que 10  $\mu\text{m}$  en agua subterránea. Se agregó la suspensión al estanque mezclador, que está provisto de una salida conectada con una bomba de 2 HP de capacidad, a una velocidad de descarga de 60 litros por minuto. El extremo de descarga de la bomba se conectó con un tubo de realimentación al estanque mezclador, provisto de boquillas de acero inoxidable para formar nebulización. El extremo de descarga de la bomba también se conectó con un módulo de filtro consistente de siete elementos de tubo filtro cerámico presurizado de 1.000 mm de longitud y cuyo diámetro externo medía 34 mm. El otro extremo del módulo de filtro cerámico formado por siete elementos se conectó con el estanque mezclador y un filtro de bujía poroso para atrapar el lodo enriquecido con arsénico. Los tubos presurizados para filtrar se encajaron dentro de un tubo de acero inoxidable a prueba de filtraciones, de manera que éstas no ocurrieran en los puntos de unión, obteniéndose agua filtrada a través de la superficie externa del tubo filtro presurizado. Se pasó la suspensión de hidróxido férrico a través del tubo durante 30 minutos aproximadamente, para formar un revestimiento de más de 10  $\mu\text{m}$  de espesor de la capa de hidróxido férrico en la



pared interna del tubo cerámico. Se agregaron a la suspensión 700 litros de una solución de 0,8 ppm de arsénico en forma de arseniato de sodio y arsenita a la suspensión de hidróxido férrico, para mantener 0,7 ppm de arsénico y 1.500 ppm de hidróxido férrico en la pulpa. Se bombeó la pulpa a través del tubo filtro presurizado a una presión de 1 kg/cm<sup>2</sup> y se recogió el agua filtrada. El contenido de arsénico del agua filtrada se determinó mediante espectrometría de absorción atómica, encontrándose que estaba por debajo de 10 ppb. La velocidad de filtración fue de alrededor de 1,5 litros por minuto. Después de que el equipo funcionó durante alrededor de tres meses, se hizo pasar la suspensión a través del filtro de bujía poroso para atrapar el lodo saturado enriquecido con arsénico. El módulo de filtro que contenía tubos cerámicos de filtros presurizados se dejó secar al aire y se lavó la capa de revestimiento con agua desionizada para limpiar los tubos cerámicos y dejarlos listos para volver a usar.

#### Ejemplo 6

Se agregaron aproximadamente 60 gramos de polvo de alúmina con un tamaño promedio de partícula de 9,6 µm con 99,5% de pureza en 140 gramos de caolín lavado que contenía 1,2 % en peso de impurezas de óxido de hierro, sosa, potasa y óxido de calcio, agregándose a la alúmina 30 gramos de polvo de carbono que contenía un 3,6% en peso de ceniza. La mezcla de polvo se cargó en una botella plástica con 400 gramos de bolas de alúmina y 300 cc de agua desionizada. Se mezclaron los materiales durante seis horas y se vació la pulpa en un recipiente plano. Se añadieron a la pulpa 3 cc de Darvan-7 al 5% en peso/volumen para formar un listón o tira cuya viscosidad era de 300 cP. Se vació el listón en un molde de yeso de París de dos piezas con un diámetro interno de alrededor de 16 mm; se mantuvo constante el nivel superior de la pulpa mediante la adición gradual del listón de tiempo en tiempo. Se dejó que el listón permaneciera dentro del molde por dos minutos, para mantener un espesor de alrededor de 2 mm del molde, después de lo cual se drenó el exceso de pulpa. Se permitió que el cuerpo moldeado permaneciera en el interior del molde durante una



hora aproximadamente, después de lo cual se separaron las dos mitades del molde y se dejó secar la pieza verde moldeada bajo condición de humedad durante dos días. Los tubos verdes se secaron lentamente en un horno de aire a 120-130°C durante 24 horas. La densidad promedio a granel de los tubos verdes se mantuvo en el orden de 1,4 a 1,5 gramos por cc. Se calentaron los tubos verdes a la tasa de 100°C por hora, manteniéndose a 800°C por una hora y luego a 1.500°C por cuatro horas y se enfriaron hasta la temperatura ambiente a la tasa de 100°C por hora. Se encontró que la porosidad aparente de las muestras encendidas era de 44% con un tamaño promedio de poro de 4,15  $\mu\text{m}$  y el valor MOR encendido, de alrededor de 30 MPa. La permeabilidad en agua limpia de las muestras tubulares fue del orden de 12.000 LMH.bar.

#### Ejemplo 7

Se mezclaron alrededor de 80 gramos de polvo de alúmina (99,5% de pureza) que tenía un tamaño promedio de partícula de 2,5  $\mu\text{m}$  con 120 gramos de arcilla plástica procesada y purificada que contenía menos de 2,5% en peso de impurezas totales (óxido de hierro, sosa, potasa y óxido de calcio) y 30 gramos de polvo de carbono que contenía 3,6% de ceniza. La mezcla de polvo se cargó entonces en una botella plástica con 400 gramos de bolas de alúmina y 330 cc de agua desionizada. Se mezclaron los materiales durante 3,5 horas y se vació la pulpa en un recipiente plano. Se añadieron a la pulpa 3 cc de Darvan-7 al 5% en peso/volumen para formar un listón o tira cuya viscosidad era de 250 cP. Se vació el listón en un molde de yeso de París de dos piezas con un diámetro interno de alrededor de 16 mm; se mantuvo constante el nivel superior de la pulpa mediante la adición gradual del listón de tiempo en tiempo. Se dejó que el listón permaneciera dentro del molde por 1,5 minutos, para mantener un espesor de alrededor de 2 mm del molde, después de lo cual se drenó el exceso de pulpa. Se permitió que el cuerpo moldeado permaneciera en el interior del molde durante una hora aproximadamente, después de lo cual se separaron las dos



mitades del molde y se dejó secar la pieza verde moldeada en condición húmeda durante 18 horas. Los tubos verdes moldeados se secaron lentamente en una estufa a 120-130°C durante 24 horas. La densidad promedio a granel de los tubos verdes se mantuvo en el orden de 1,35 a 1,4 gramos por cc. Se calentaron los tubos verdes a la tasa de 100°C por hora, manteniéndose a 800°C por una hora y luego a 1.500°C por cuatro horas y se enfriaron hasta la temperatura ambiente a la tasa de 100°C por hora. Se encontró que la porosidad aparente de las muestras encendidas era de 52% con un tamaño promedio de poros de 2,8  $\mu\text{m}$  y MOR encendido de alrededor de 26,48 MPa. La permeabilidad del agua limpia de las muestras tubulares fue del orden de 6,106 LMH.bar.

#### Ejemplo 8

Se tomaron aproximadamente 400 gramos de alúmina con un tamaño promedio de partícula de 37  $\mu\text{m}$  de 91,5% de pureza con 600 gramos de caolín procesado y purificado que contenía 1,2 % en peso de óxido de hierro, sosa, potasa y óxido de calcio en calidad de impurezas. A continuación la mezcla de polvo se cargó en una botella plástica con 1.000 gramos de bolas de alúmina y 1.300 cc de agua desionizada. Se mezclaron los materiales durante tres horas y se vació la pulpa en un recipiente plano. Se agregaron a la pulpa 7 cc de Darvan-7 en peso/volumen al 5%, para formar un listón o tira cuya viscosidad era de 360 cP. Se vació el listón en un molde de yeso de París de dos piezas con un diámetro interno de alrededor de 16 mm; se mantuvo constante el nivel superior de la pulpa mediante la adición gradual del listón de tiempo en tiempo. Se dejó que el listón permaneciera dentro del molde durante un minuto para mantener un espesor de alrededor de 2 mm de la pieza moldeada, después de lo cual se drenó el exceso de pulpa. Se permitió que el cuerpo moldeado permaneciera en el interior del molde durante una hora aproximadamente, después de lo cual se separaron las dos mitades del molde y se dejó secar la pieza verde moldeada bajo una condición de humedad durante 18 horas. Los tubos verdes se secaron lentamente en una estufa a



120-130°C durante 24 horas. La densidad promedio a granel de los tubos verdes se mantuvo en el orden de 1,6 a 1,7 gramos por cc. Se calentaron los tubos verdes a la tasa de 100°C por hora, manteniéndose a 800°C por una hora y luego a 1.500°C por cuatro horas y se enfriaron hasta la temperatura ambiente a la tasa de 100°C por hora. Se encontró que la porosidad aparente de las muestras encendidas era de 55% con un tamaño promedio de poro de 5  $\mu\text{m}$ . La permeabilidad en agua limpia de las muestras tubulares fue del orden de 20.000 LMH.bar.

#### Ejemplo 9

Se tomaron aproximadamente 80 gramos de alúmina en polvo con un tamaño promedio de partícula de 2,5  $\mu\text{m}$  y 99,5% de pureza. Se tomaron 120 gramos de arcilla Bikaner lavada que contenía 2% en peso de óxido de hierro, sosa, potasa y óxido de calcio en calidad de impurezas agregándose a la mezcla con la alúmina, y luego 30 gramos de polvo de carbono que contenía un 3,4% en peso de ceniza. La mezcla de polvo se cargó en una botella plástica con 400 gramos de bolas de alúmina y 300 cc de agua desionizada. Se mezclaron los materiales durante seis horas y se vació la pulpa en un recipiente. Se agregaron a la pulpa 4 cc de Darvan-7 al 5% en peso/volumen para formar un listón o tira con una viscosidad de 230 cP. Se vació el listón en un molde de yeso de París de dos piezas con un diámetro interno de alrededor de 16 mm; se mantuvo constante el nivel superior de la pulpa mediante la adición gradual del listón de tiempo en tiempo. Se dejó que el listón permaneciera dentro del molde durante 2,5 minutos para mantener un espesor de alrededor de 2,5 mm del molde, después de lo cual se drenó el exceso de pulpa. Se permitió que el cuerpo moldeado permaneciera en el interior del molde durante una hora aproximadamente, después de lo cual se separaron las dos mitades del molde y se dejó secar la pieza verde moldeada bajo condiciones de humedad durante dos días. Los tubos verdes se secaron lentamente en una estufa a 120-130°C durante 24 horas. Se mantuvo la densidad promedio a granel de los tubos verdes en el orden de 1,4 - 1,5 gramos por cc. Los tubos verdes se



calentaron a la tasa de 100°C por hora, manteniéndose a 800°C por una hora y luego a 1.500°C por cuatro horas y se enfriaron hasta la temperatura ambiente a la tasa de 100°C por hora. Se encontró que la porosidad aparente de las muestras encendidas era de 34%, con un tamaño promedio de poros de 4,04  $\mu\text{m}$  y un valor MOR encendido de alrededor de 28 MPa. La permeabilidad en agua limpia de las muestras tubulares fue del orden de 9.160 LMH.bar.

### Ejemplo 10

Se tomaron 900 gramos de polvo de alúmina (99,5% de pureza), con un tamaño de partícula promedio de 2,5  $\mu\text{m}$  y se mezclaron con 100 gramos de caolín procesado que contenía menos de 2,5% en peso total de impurezas (óxido de hierro, sosa, potasa y óxido de calcio) y 100 gramos de polvo de carbono con 3,6% de contenido de ceniza. A continuación a mezcla de polvos se cargó en una botella plástica con 1.000 g de bolas de alúmina y 1.500 cc de agua desionizada. Se mezclaron los materiales durante cinco horas y se descargó la pulpa en un recipiente plano. Se agregaron a la pulpa 8 cc con Darvan-7 al 5% en peso/volumen y 5 cc de alcohol polivinílico al 2% en peso/volumen, para formar un listón o tira con una viscosidad de 380 cP. Se vació el listón en un molde de yeso de París de dos piezas con un diámetro interno de alrededor de 16 mm; se mantuvo constante el nivel superior de la pulpa mediante la adición gradual del listón de tiempo en tiempo. Se dejó que el listón permaneciera dentro del molde durante 2,5 minutos para mantener un espesor de alrededor de 2 mm del molde, después de lo cual se drenó el exceso de pulpa. Se permitió que el cuerpo moldeado permaneciera en el interior del molde durante dos horas aproximadamente, después de lo cual se separaron las dos mitades del molde y se dejó secar la pieza verde moldeada bajo condición de humedad durante 24 horas. Los tubos verdes moldeados se secaron lentamente en una estufa a 120-130°C durante 24 horas. Los



tubos verdes se calentaron a la tasa de 100°C por hora, manteniéndose a 800°C por una hora y luego a 1.500°C por cuatro horas y se enfriaron hasta la temperatura ambiente a la tasa de 100°C por hora. La densidad a granel encendida de los tubos fue del orden de 2,9 gramos por cc. La porosidad aparente de las muestras encendidas era de 20% y el valor MOR encendido de alrededor de 250 MPa. La permeabilidad en agua limpia de las muestras tubulares fue del orden de 150 LMH.bar.

#### Ejemplo 11

Se tomaron 48 kg de polvo de alúmina (pureza 99,5%) de un tamaño de partícula de 37 µm en promedio y se mezclaron con 72 kg de caolín procesado y purificado que contenía 1,2% en peso de óxido de hierro, sosa, potasa y óxido de calcio como impurezas. La mezcla de polvos se cargó entonces en un molino de bolas revestido con alúmina con una carga de bolas en proporción de 3:1, y se molieron en seco durante seis horas. Se agregó a la mezcla 180 litros de agua desionizada y se molió la pulpa en húmedo durante 17 horas. Se descargó la pulpa en un recipiente plano. Se agregaron a la pulpa 1.800 cc de Darvan-7 al 5% en peso/volumen y 600 cc de alcohol polivinílico al 2% en peso/volumen para formar un listón o tira moldeable con una viscosidad de 360 cP. Se vació el listón en un molde de yeso de París de dos piezas con un diámetro interno de alrededor de 36 mm y 1.200 m de longitud. Se mantuvo constante el nivel superior de la pulpa en el molde mediante la adición gradual del listón de tiempo en tiempo. Se dejó que el listón permaneciera dentro del molde durante tres minutos para mantener un espesor de alrededor de 3 mm del cuerpo moldeado, después de lo cual se drenó el exceso de pulpa. Se permitió que el cuerpo moldeado permaneciera en el interior del molde durante 1,5 horas aproximadamente, después de lo cual se separaron las dos mitades del molde y se dejó secar la pieza verde moldeada bajo condición de humedad durante 20 horas. Los tubos verdes moldeados se secaron lentamente en una estufa a 120-130°C durante 24 horas. Se mantuvo la densidad promedio a granel de los tubos verdes en el orden de 1,6 a 1,7 gramos/cc. Los tubos



verdes se encendieron en un horno a petróleo a 1.400°C con un programa de encendido total de 14 horas y 10 horas de enfriamiento programado. La porosidad aparente de las muestras encendidas fue de 56%, la densidad a granel de 1,32 a 1,5 gramos/cc y la absorción de agua de 40%. La permeabilidad en agua limpia de las muestras tubulares fue del orden de 16 LPH a una presión de 2 kg/cm<sup>2</sup> de un trozo cortado de 200 mm de longitud, 26,6 mm de diámetro interno y 32,8 mm de diámetro externo.

#### Ventajas de la presente invención

- Materias primas más baratas.
- Fácil proceso de fabricación que requiere una inversión mínima.
- Facilidad para desincrustar un tubo de hasta 1.000-1.200 mm de longitud con diferente porosidad.
- Más bajo costo de producción.



## REIVINDICACIONES

1. Proceso para preparar agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir de agua contaminada con arsénico, CARACTERIZADO porque comprende mezclar agua contaminada con arsénico con una suspensión homogénea en un medio acuoso que contiene esencialmente partículas finas de un tamaño inferior a 20  $\mu\text{m}$  del medio que adsorbe arsénico; circular la mezcla resultante, con el propósito de filtrarla, bajo presión en el orden de 0,1 a 3  $\text{kg}/\text{cm}^2$  a través de uno o más tubos cerámicos porosos, con un tamaño de poro del orden de 1 a 10  $\mu\text{m}$  que tienen un pre-revestimiento cuyo espesor es de por lo menos 10  $\mu\text{m}$  del medio que adsorbe el arsénico.
2. Proceso acorde con la Reivindicación 1, CARACTERIZADO porque la concentración del medio que adsorbe arsénico es menor que 5.000 ppm.
3. Proceso acorde con la Reivindicación 1, CARACTERIZADO porque el medio que adsorbe arsénico empleado para efectuar la suspensión se selecciona entre el grupo consistente de hidróxidos, oxi-hidróxidos y fosfatos, ya sea de hierro, aluminio, manganeso, calcio y magnesio, fosfato de hidrógeno y fosfato de amonio.
4. Proceso acorde con la Reivindicación 1, CARACTERIZADO porque el agua contaminada con arsénico es agua subterránea que se ha contaminado con arsénico.
5. Proceso acorde con la Reivindicación 1, CARACTERIZADO porque el proceso destinado a la preparación de agua libre de arsénico incluye los pasos siguientes:



- a) tomar una suspensión homogénea en un medio acuoso que contiene esencialmente partículas finas;
  - b) disponer una serie de tubos cerámicos porosos previamente revestidos en un medio que adsorbe arsénico en un tubo de acero provisto con cañerías de entrada y salida para formar un módulo de filtros;
  - c) agregar agua contaminada con arsénico a la suspensión homogénea en un medio acuoso que contiene esencialmente partículas finas y bombear la mezcla a través de un módulo de filtros, definido por dichos uno o más tubos cerámicos porosos, bajo una presión de 0,1 a 3 kg/cm<sup>2</sup>, usando la técnica de filtración de flujo transversal para producir agua filtrada.
6. Aparato para preparar agua libre de arsénico (<10 ppb) a partir de agua contaminada con arsénico, CARACTERIZADO porque dicho aparato comprende un estanque mezclador (1) que contiene básicamente una suspensión del medio que adsorbe el arsénico (2) el estanque tiene una entrada (9) para el agua subterránea contaminada con arsénico que se va a tratar y una salida (10) para la descarga, en que dicha salida está conectada a través de una bomba (3) con un rociador de retroalimentación (11) hacia el estanque (1) y uno o más módulos de filtros bajo presión (4), en que cada uno de dichos módulos contiene uno o más tubos cerámicos presurizados para filtrar (5), encajados de manera que permiten la descarga del agua filtrada a través de una salida (7) y dicho módulo de filtro bajo presión también dispone de una conexión de retroalimentación (8) hacia el estanque mezclador (1).
7. Aparato de acuerdo con la Reivindicación 6, CARACTERIZADO porque la salida (10) es una válvula dispuesta entre el estanque mezclador y la bomba.



8. Aparato de acuerdo con la Reivindicación 6, CARACTERIZADO porque los tubos cerámicos presurizados para filtrar comprenden poros que tienen un tamaño de poro del orden de 1 a 10  $\mu\text{m}$ , provisto de un pre-revestimiento (6) con un espesor de por lo menos 10  $\mu\text{m}$  del medio que adsorbe el arsénico (2).
9. Aparato acorde con la Reivindicación 6, CARACTERIZADO porque además comprende un filtro de bujía poroso para atrapar el lodo saturado enriquecido con arsénico.



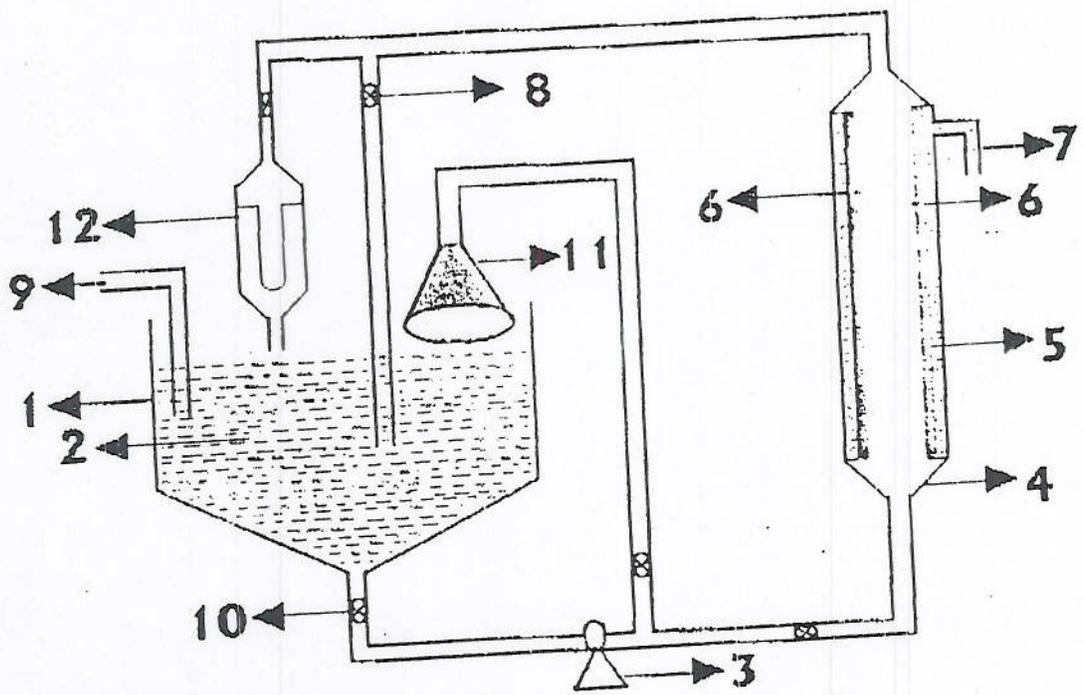


Fig 1

