

DISPOSITIVO AUTOMATIZADO Y AUTÓNOMO DE DETECCIÓN DE PRESENCIA DE E.COLI Y COLIFORMES EN AGUA PARA CONSUMO HUMANO

CAMPO TÉCNICO

[0001] La presente invención se refiere a un dispositivo de detección de presencia de bacterias contaminantes en agua, particularmente a la detección de coliformes y *Escherichia coli*, autónomo y automático que no requiere de operador y que reporta los resultados de las pruebas a una central remota.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

[0002] Uno de los indicadores más utilizados para garantizar la calidad del agua potable es la determinación de su carga microbiana, esto en general se logra por medio de la detección de la presencia de coliformes. Estas bacterias son útiles para indicar la presencia de contaminación fecal en agua potable, y por tanto, la posibilidad de la presencia de patógenos. En este sentido, la detección de *Escherichia coli* es uno de los indicadores más empleados en la determinación de este tipo de contaminación microbiana, siendo complementado además por la detección de coliformes totales, los cuales no solo incluyen *Escherichia coli*, que siempre se encuentra en las heces humanas y animales, sino también muchos otros géneros como *Enterobacter*, *Citrobacter* y *Serratia*, que se encuentran presentes en el medio ambiente, y no están asociados con contaminación fecal.

[0003] *Escherichia coli*, o *E. coli*, pertenece al género *Escherichia* y es un miembro bien conocido de la familia de bacterias Enterobacteriaceae. Las enterobacteráceas se denominan comúnmente bacterias entéricas, debido a que estas pueden sobrevivir en el tracto gastrointestinal, que consta de las estructuras del sistema digestivo (cavidad oral, esófago, estómago, intestinos, recto y ano). Otros miembros de la familia Enterobacteriaceae incluyen *Klebsiella*, *Shigella* y *Salmonella*. Algunos de estos organismos se asocian comúnmente con enfermedades transmitidas por alimentos o enfermedades causadas por organismos presentes en el agua. La gran variedad de microorganismos, principalmente de las familias mencionadas previamente, son

perjudiciales para la salud humana, las cuales pueden generar en casos extremos diarrea hemorrágica, insuficiencia renal y hasta la muerte.

[0004] Tradicionalmente las pruebas para la detección de *E. Coli* y coliformes se realizan en laboratorios, en los cuales es necesario enviar las muestras de agua tomadas directamente de las plantas de tratamiento, lo cual implica una serie de inconvenientes logísticos y económicos, especialmente en zonas rurales de difícil acceso. Asimismo, este procedimiento implica un tiempo relativamente largo, debido a que es necesario el envío y análisis de las muestras y la recepción de resultados de cada una, por lo cual se corre el riesgo de suministrar agua no apta para el consumo humano mientras se completa todo este proceso. De igual forma, el tiempo y las condiciones de transporte de la muestra pueden alterar los resultados de la prueba en el laboratorio, generando inconvenientes en la toma de decisiones en las plantas de tratamiento. Solo en los casos de grandes plantas de tratamiento de aguas, principalmente en zonas urbanas altamente pobladas, se cuenta con los equipos para realizar las pruebas en sitio, pero siempre con equipos atendidos por personal especializado para su análisis.

[0005] Por lo tanto, un dispositivo que permita la detección de microorganismos en plantas de tratamiento de manera frecuente, autónoma y económica, con resultados rápidos y confiables, es deseable para garantizar una calidad óptima del agua de consumo humano.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

[0006] En vista de los problemas identificados anteriormente, la presente invención proporciona un dispositivo automatizado y autónomo para la detección de bacterias contaminantes en agua, el cual comprende un módulo de dispensación de frascos encargado de proporcionar viales con un medio de cultivo adecuado para permitir la proliferación de los microorganismos a analizar; un módulo de inyección que introduce a los frascos el agua que se va a analizar; un módulo de incubación y detección que adecúa la temperatura del medio para permitir la proliferación de los microorganismos a analizar; un módulo de control que regula las corrientes y los estados propios de cada uno de los módulos; un módulo de comunicaciones que permite la interacción de los

módulos anteriores y un módulo central de procesamiento y almacenamiento de información, por medio del cual es posible determinar el estado del dispositivo, introducir órdenes y obtener los resultados de las pruebas.

[0007] Gracias a la interacción de los módulos mencionados previamente, es posible la detección autónoma de microorganismos potencialmente peligrosos para la salud en el agua potable, de manera rápida, económica y confiable.

DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

[0008] Figura 1: Diagrama de bloques del dispositivo de detección de microorganismos en agua de acuerdo con la invención.

[0009] Figura 2: Esquema del flujo de operación del dispositivo de detección de microorganismos en agua de acuerdo con la invención.

[0010] Figura 3: Diagrama de actuadores del dispositivo de detección de microorganismos en agua de acuerdo con la invención.

[0011] Figura 4a: Vista frontal de un dispositivo de acuerdo con una realización de la presente invención.

[0012] Figura 4b: Vista isométrica de un dispositivo de acuerdo con una realización de la presente invención.

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

[0013] El dispositivo de detección de presencia de bacterias contaminantes en agua potable de acuerdo con la presente invención, está constituido de una serie de módulos acoplados, gracias a cuya interacción es posible la prevención del envío de agua contaminada a los usuarios del acueducto en el que se emplea el dispositivo, permitiendo el análisis *in situ* de muestras, sin intervención de personal especializado.

[0014] Para llevar a cabo la tarea mencionada, la presente invención comprende un módulo de dispensación de frascos, un módulo de inyección, un módulo de incubación y detección; un módulo de control; un módulo de comunicaciones y un módulo central de procesamiento y almacenamiento de información, cuyos componentes y funcionamiento se divulgan a continuación.

[0015] El dispositivo automatizado y autónomo para la detección de microorganismos en agua para consumo humano aquí revelado, realiza autónomamente y sin intervención de operarios o analistas las pruebas referentes a la detección de bacterias como coliformes y *E. Coli*, y reporta los resultados al módulo central de procesamiento y almacenamiento de información, el cual permite la consulta de los usuarios o encargados del sistema de tratamiento de aguas de manera remota.

[0016] En realizaciones preferidas del dispositivo revelado, el módulo central de procesamiento y almacenamiento de información, permite alertar automáticamente a los administradores y encargados del dispositivo en caso de registrar presencia de microorganismos perjudiciales para la salud humana, y ejecutar acciones sobre válvulas y otros actuadores que impidan la distribución de agua no apta para el consumo humano.

[0017] En una realización de la presente invención mostrada en la Figura 1, el dispositivo comprende un módulo de dispensación de frascos (1) encargado de proporcionar viales que contienen un medio de cultivo estéril, con los componentes necesarios para permitir la proliferación y posterior detección de los microorganismos a analizar, un módulo de inyección (2), encargado de introducir a los frascos el agua que se desea analizar; un módulo de incubación y detección (4) que permite generar las condiciones de temperatura requeridas para permitir la proliferación de los microorganismos en el medio de cultivo, y su posterior análisis para comprobar la calidad del agua; un módulo de control (5) que tiene entradas y salidas apropiadas para cada uno de los módulos mencionados anteriormente, el cual se encarga de regular las corrientes y los estados propios de cada uno de los módulos del dispositivo; un módulo de comunicaciones (6) que permite la interacción de los módulos anteriores con un módulo central de procesamiento y almacenamiento de información (7) por medio del cual es posible

determinar el estado del dispositivo, introducir órdenes y obtener los resultados de las pruebas.

[0018] El módulo de comunicaciones (6) conectado al módulo de control (5) es el responsable de permitir la entrada de órdenes que serán ejecutadas por los demás módulos, así como de obtener información de los resultados que serán comunicados al módulo central de procesamiento y almacenamiento de información (7).

[0019] En otra modalidad preferida, el módulo central de procesamiento y almacenamiento de información (7), cuenta con una interfase adecuada para que el usuario pueda interactuar con el equipo y registrar toda la información que sea relevante para el operario o técnico de mantenimiento, como son la calibración de sensores, ajuste de tiempos, temperaturas, entre otras. Una vez instalado el dispositivo, todo el proceso podrá realizarse de manera remota. Así mismo, es posible emplear interfaces que cuenten con dispositivos de almacenamiento de información, de manera que se pueda mantener una base de datos que contenga la información de los últimos procesos de forma local. La interfaz del módulo central de procesamiento y almacenamiento de información (7) puede ser seleccionada sin limitación de un computador, una tablet, un teléfono inteligente o similares.

[0020] En la Figura 2 se muestran un esquema del flujo de operación realizado automáticamente y sin intervención de operarios del dispositivo de acuerdo con la invención, y se detallan de manera más específica los componentes del módulo de dispensación de frascos (1), el módulo de inyección (2) y el módulo de incubación y detección (4).

[0021] Del mismo modo, la Figura 3 presenta el diagrama de actuadores, en el cual se observa como los frascos con el medio de cultivo son transportados a través de todo el dispositivo. En primer lugar, una vez que el frasco es dispensado por el módulo de dispensación de frascos (1), este es transportado hasta la posición de inyección por medio del actuador de transporte (20), para permitir que el actuador de inyección (22) mueva la aguja por medio de la cual se realiza la dosificación del agua que se analizará.

Una vez el agua se encuentra en el frasco, el actuador de inyección (22) se retrae para extraer la aguja y permitir el movimiento del frasco al siguiente punto del proceso. Posteriormente, el actuador de transporte (20) mueve nuevamente el frasco hacia el módulo de incubación y detección (4), en donde el actuador de horno (40) posiciona el horno que proporcionará las condiciones de temperatura requeridas para la proliferación de los posibles microorganismos presentes en el agua sobre el frasco. Finalmente, el actuador de horno (40) retira el horno para permitir la acción del actuador de cámara oscura (41), el cual posiciona sobre el frasco la cámara oscura para realizar la detección. En los casos en los que se requiera la esterilización del sistema, el actuador de limpieza (21) puede extender un recipiente por debajo del inyector para recibir el fluido de esterilización. En algunas modalidades de la invención el actuador de transporte (20) puede ser lineal o de rotación.

[0022] Como se observa en la Figura 2, el módulo de dispensación de frascos (1) proporciona frascos (100) que son frascos tipo vial sellados, de manera que sea posible la inyección del agua a analizar, manteniendo el ambiente estéril en su interior. En realizaciones preferidas, los frascos (100) están sellados con una tapa de caucho o septa y contienen los reactivos necesarios para la detección de bacterias. En modalidades de la invención los frascos (100) contienen un medio de cultivo hidratado o deshidratado, un medio de contraste y un agente de eliminación de cloruros, necesario para recuperar las células dañadas subletalmente y garantizar un resultado óptimo del proceso de detección. En una modalidad preferida de la invención, el agente de eliminación de cloruros se selecciona de dióxido de azufre o tiosulfato sódico, y el medio de cultivo es hidratado.

[0023] En algunas modalidades de la invención, los frascos (100) contienen un medio de cultivo deshidratado, en estas modalidades el dispositivo de la invención incluye adicionalmente un módulo de agitación, entre el módulo de inyección (2) y el módulo de incubación y detección (4), en el cual se realiza la homogenización de la muestra, de manera que se obtenga un contacto íntimo entre el agua a analizar y los reactivos que permitirán la identificación de las bacterias contaminantes.

[0024] De acuerdo con la invención, los frascos (100) son almacenados en el contenedor de frascos (101), donde se apilan suficientes frascos (100) de manera que se tenga disponibilidad de estos por un tiempo considerable. En una modalidad de la invención, el contenedor de frascos (101) contiene entre 1 y 50 frascos (100), más preferiblemente entre 15 y 30 frascos (100). Los frascos bajan de la pila por gravedad hasta el lugar donde se encuentra un motorreductor con una rueda que permite dispensar los frascos de uno en uno. Una vez se dispensa el frasco, este debe ser ubicado en posición vertical, y es llevado por medio del actuador de transporte (20) hasta la posición de inyección.

[0025] En una modalidad de la presente invención mostrada en las Figuras 2 y 3, el módulo de inyección cuenta con un actuador de transporte (20) que se encarga de llevar el frasco proporcionado por el módulo de dispensación de frascos (1) a la posición de inyección. El agua que se está suministrando a los abonados de la planta de tratamiento se encuentra almacenada en el tanque (200), de donde se tomará una muestra para realizar el análisis posterior. Una vez se cuente con agua suficiente en el tanque (200), la bomba (201) se activa para llenar el tanque de inyección (202), el cual cuenta con un sensor de nivel del tanque (203), que permite determinar el volumen máximo del tanque de inyección (202), y desactivar el flujo de agua a través de la bomba al llegar a dicho volumen. El actuador de inyección (22) se encarga de que la aguja del inyector (207) perfora la tapa del frasco para permitir la entrada del agua. Cuando el tanque de inyección (202) está lleno y la aguja esta insertada en el frasco, se enciende la bomba de inyección (204). El volumen requerido depende del tipo de frasco y de las características del medio de cultivo y de contraste con que cuenta el mismo. En general, el volumen de agua está entre 50 mL y 250 mL. El volumen de agua se confirma con un sensor de tipo “no-contacto” o similar que está fuera del frasco. Cuando se alcanza el nivel correcto, se apaga la bomba de inyección (204) y el actuador de inyección (22) retira la aguja del frasco.

[0026] Debido a que se realizan pruebas consecutivas, es deseable que el dispositivo cuente con medios para proveer un fluido de esterilización del módulo de inyección (2) para evitar contaminación cruzada de muestras. Por lo tanto, una modalidad del dispositivo de acuerdo con la presente invención cuenta con una resistencia de

esterilización (205) en el tanque de inyección (202) la cual puede calentar un fluido de esterilización hasta una temperatura dada, que puede ser la temperatura de ebullición del fluido de esterilización, controlada por el sensor de temperatura de esterilización (206). Una vez alcanzada la temperatura de esterilización, se permite el paso del fluido de esterilización por los diferentes componentes del módulo de inyección (2). En una realización preferida, los componentes esterilizados son el tanque de inyección (202), el inyector (207) y la bomba de inyección (204). En caso de que se requiera la esterilización, el actuador de limpieza (21) posiciona un recipiente de desagüe debajo del inyector (207) para recolectar el fluido de esterilización, y posteriormente es posible hacer que el fluido de esterilización pase por los componentes a esterilizar. De esta manera, se garantiza total esterilidad de los tanques, mangueras y la aguja de inyección que conectan todo el sistema para el análisis posterior. En una modalidad preferida, el fluido de esterilización se selecciona de agua.

[0027] Posteriormente, el frasco se posiciona en el módulo de incubación y detección (4) el cual cuenta con un actuador de horno (40) que posiciona el horno de cultivo (400) sobre el frasco para mantenerlo a la temperatura de cultivo por el tiempo necesario para permitir la proliferación de los microorganismos de interés. Con este fin, en una realización del dispositivo, este comprende una resistencia de horno (404) y una termocupla de horno (405) las cuales se encargan de calentar y controlar la temperatura respectivamente. En modalidades de la invención, la temperatura de incubación está entre 25°C y 50°C, más preferiblemente entre 35°C y 44°C, y el tiempo de incubación entre 8 y 48 horas, más preferiblemente entre 12 y 24 horas. Al concluir la etapa de incubación, el actuador de horno (40) retira el horno de cultivo (400), para permitir que el actuador de cámara oscura (41) posicione la cámara oscura (401) necesaria para la etapa de detección.

[0028] Durante la etapa de detección, gracias a la presencia de un agente de contraste cromofluorogénico en los frascos (100), es posible la determinación espectrofotométrica de los microorganismos de interés en el módulo de incubación y detección (4). La sección de detección del módulo de incubación y detección (4) cuenta con una lámpara UV (402) y una lámpara de luz día (403). La lámpara UV (402) se puede

seleccionar de cualquier tipo, incluidas las de baja, media, alta presión y ultra alta presión, que están hechas de varios materiales, de manera preferente mercurio (Hg). Además, se pueden usar lámparas de calibración espectral, lámparas sin electrodos y similares. Se prefieren las lámparas UV-A, las cuales proporcionan una radiación de aproximadamente 315 nm a aproximadamente 400 nm. En modalidades preferidas, la lámpara UV (402) comprende bulbos de 18W de luz ultravioleta que emiten luz de 366nm de longitud de onda, y la lámpara de luz día (403) comprende bulbos de 9W que emiten luz de 6500K. Inicialmente se enciende la lámpara UV (402) para permitir que el sensor de fluorescencia (406) determine la presencia o ausencia de fluorescencia en la muestra. Posteriormente, se apaga la lámpara UV (402) y se enciende la lámpara de luz día (403), para que el sensor de color (407) determine la presencia o ausencia de coloración azul en la muestra. En caso de detectarse fluorescencia en la muestra por medio del sensor de fluorescencia (406), el resultado sería positivo para *E.Coli*. Asimismo, si el sensor de color (407) detecta que la muestra se tornó de color azul, se considera que la prueba es positiva para bacterias coliformes. En modalidades preferidas de la invención, el horno de cultivo (400) y la cámara oscura (401) están contenidas en una sola unidad que desempeña las dos funciones, por lo cual solo es requerido un actuador que posiciona esta unidad sobre el frasco.

[0029] De acuerdo con una modalidad preferida de la invención, en caso de que las pruebas tanto con la lámpara UV (402) como con la lámpara de luz día (403) sean negativas, el actuador de cámara oscura (41) se retira, permitiendo que el actuador de horno (40) se posicione nuevamente sobre la muestra para proceder con un periodo de incubación adicional de al menos 24 horas, al cabo de las cuales se repite la detección. Si nuevamente el resultado es negativo se considera que el agua es apta para el consumo humano. Cuando este paso concluye, el actuador de transporte (20) empuja nuevamente el frasco hasta el final de la plataforma para descartarlo. Los resultados de las pruebas se mostrarán en la interfaz de usuario la cual se encuentra en el módulo central de procesamiento y almacenamiento de información (7), y son accesibles tanto en el sitio como de manera remota.

[0030] Dado que el resultado podría haber sido positivo, la esterilización del tanque de inyección (202), la bomba de inyección (204) y el inyector (207) es indispensable para evitar que se afecten las pruebas posteriores, razón por la cual se debe llevar a cabo la etapa de esterilización previamente mencionada, una vez se llega al final de la etapa de incubación y detección.

[0031] En la Figura 4a se presenta una vista frontal de una realización de acuerdo con algunas modalidades de la presente invención. En donde se muestra además el motorreductor (103) encargado de proporcionar los frascos (100) de uno en uno gracias a la acción de la rueda dentada o sproket (102) mostrada en la Figura 4b. Este motorreductor hace girar la rueda a una velocidad de aproximadamente 2 RPM, de manera que se controla la dispensación de los frascos (100) de manera precisa.

[0032] La Figura 4b presenta una vista isométrica de una realización del dispositivo de acuerdo con la presente invención, en la cual se representa la modalidad en la que el horno de cultivo (400) actúa como horno y como cámara oscura, realizando las funciones tanto de incubación como de detección. En esta modalidad particular, dado que el horno de cultivo (400) y la cámara oscura (401) están contenidas en una sola unidad que desempeña las dos funciones, solo es requerido un actuador que posiciona esa unidad sobre el frasco.

[0033] Por otro lado, de acuerdo con la invención, el módulo de comunicaciones (6) puede emplear canales inalámbricos o alámbricos para comunicar información y enviar ordenes desde o hacia el módulo de dispensación de frascos (1), el módulo de inyección (2) y el módulo de incubación y detección (4). Las comunicaciones como tal pueden ser de tipo celular, fibra óptica, red local por Ethernet, radio frecuencia tales como las acogidas por el estándar IEEE802.15.4, entre otras. El uso de un tipo u otro depende de las condiciones locales y la tecnología disponible en el sitio en el cual vaya a funcionar el dispositivo.

[0034] De acuerdo con modalidades del dispositivo de la invención, los módulos de dispensación de frascos (1), de inyección (2) e incubación y detección (4) se encuentran

conectados al módulo de control (5), el cual cuenta con una tarjeta de microcontrolador, encargada del control de los actuadores, resistencias, motores, lámparas, sensores y demás sistemas involucrados en el funcionamiento del dispositivo,

[0035] A la tarjeta de microcontrolador están conectadas tarjetas de potencia que tienen relays para el manejo de cargas de alta corriente como son los actuadores y resistencias. Cada actuador debe contar con dos relays que son requeridos para poder tener los siguientes tres estados, detenido, extendiendo y retrayendo. Las resistencias, motores, bombas, lámparas, entre otros también cuentan con relays para su operación. Se tienen entradas análogas para los sensores de temperatura y sensores de luz, y entradas digitales para switches de límite y sensores de nivel. Las corrientes y voltajes requeridos por los circuitos lógicos y circuitos de potencia son suministrados por una fuente de potencia adecuada.