

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 728 285**

51 Int. Cl.:

G01J 1/42 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **09.08.2013** **E 13179906 (6)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **27.02.2019** **EP 2835622**

54 Título: **Dispositivo de desinfección del agua y método para la desinfección solar del agua**

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
23.10.2019

73 Titular/es:

**FUNDACION IMDEA AGUA (100.0%)
C/Punto Net, 4 - 2º Piso, Edificio ZYE, Parque
tecnologico de la Universidad de Alcala
28805 Alcala de Henares (Madrid), ES**

72 Inventor/es:

**VIVAR GARCÍA, MARTA y
FUENTES CONDE, MANUEL**

74 Agente/Representante:

PONS ARIÑO, Ángel

ES 2 728 285 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Dispositivo de desinfección del agua y método para la desinfección solar del agua

5 OBJETO DE LA INVENCION

La invención divulgada en el presente documento está dirigida al campo de medios de captación, tal como los dispositivos sensores.

10 El sensor de la invención permite la determinación de la calidad del agua y la presencia de microorganismos.

ANTECEDENTES DE LA INVENCION

15 Una de las limitaciones para la extensión de las tecnologías de desinfección solar del agua en regiones en desarrollo es la carencia de sensores de agua limpia de bajo coste.

20 Uno de los métodos más apropiados para el tratamiento de agua (WT, del inglés water treatment) potable en países en desarrollo, especialmente en pequeñas comunidades o en áreas remotas, es la desinfección solar. Las tecnologías solares para la desinfección del agua son limpias, sencillas, fáciles de manejar y mantener, adecuadas para el uso doméstico, no requieren electricidad y tienen un coste bajo. Pero son dependientes del medio ambiente y pueden ser utilizadas únicamente en áreas con condiciones de una alta irradiancia solar durante todo el año. Otra desventaja es que, en algunos casos, tal como en el caso de la destilación solar, la eficiencia es limitada. Por otro lado, la mayoría de los países en desarrollo están situados en áreas con una elevada irradiancia, en la denominada zona del "cinturón solar", en la que es viable el uso de las tecnologías solares.

25 La desinfección solar del agua puede convertir la energía del sol en calor para aumentar la temperatura del agua para la pasteurización o la destilación; o puede utilizar directamente el efecto germicida de la radiación UV, o una combinación de ambas cosas. Entre las principales tecnologías solares se incluyen: la destilación solar, la pasteurización solar y el método SODIS con botellas de plástico. La destilación solar está basada en la evaporación y la condensación del agua, pero la eficiencia es muy baja ya que requiere mayores dosis de energía solar durante periodos de tiempo más largos para tratar el agua que cualquiera de las otras tecnologías solares. Si el agua no se evapora, pero el aumento de temperatura es únicamente hasta aproximadamente 70°C, entonces alcanza la temperatura de pasteurización. Estos sistemas consisten en envases o botellas de plástico que se pintan completamente de negro y que se exponen a continuación al sol, esperando que la temperatura del agua alcance los 35 70°C. Se utilizan a menudo unos reflectores simples con láminas de aluminio o materiales metálicos para acelerar el proceso. Finalmente, si se utiliza una combinación de radiación UV y temperatura, entonces se continúa con el proceso SODIS (desinfección solar), utilizando botellas de plástico transparente directamente expuestas al sol durante un determinado número de horas. La combinación de radiación UV y calor desinfecta el agua después de un periodo de exposición.

40 Una de las principales desventajas o limitaciones a la extensión de estos métodos de desinfección solar en los países en desarrollo es que el usuario no tiene información acerca de cuándo es seguro beber el agua. Hay una carencia de sensores viables para la desinfección solar natural para detectar cuándo el agua está limpia, es decir, si el agua tratada ha recibido la suficiente radiación y/o si ha alcanzado la temperatura de pasteurización. Esta carencia de información reduce su "usabilidad" en las regiones remotas. El proceso SODIS proporciona algunas orientaciones y estima que el agua es segura para beber después de 6 horas de exposición si hubo un día soleado, o entre 2-3 días si está nublado, pero no existen sensores. La investigación científica ha estado buscando todo tipo de sensores simples de bajo coste que puedan proporcionar algún tipo de ayuda para detectar cuándo el agua está limpia, tanto para la desinfección solar con radiación UV (SODIS) como para la pasteurización solar del agua:

50 1. Sensores SODIS: La mayoría de las aproximaciones están basadas en detectores de radiación UV, que monitorizan la radiación UV y en algunos casos la temperatura, no midiendo otros parámetros tales como la duración de la luz del sol o la irradiancia global. En general, existen sensores comerciales desarrollados tanto para monitorizar radiación UV como para la desinfección por radiación UV artificial, pero o bien son demasiado costosos para su uso en países en desarrollo, o bien no resultan adecuados para la luz del sol natural debido a diferencias del espectro (radiación UVA en la desinfección con la luz solar versus radiación UVC en la desinfección artificial). Los principales hallazgos de sensores adecuados para la desinfección solar natural en países en desarrollo se resumen a continuación.

60 Se conoce un detector de luz UV para unidades de desinfección de líquidos, que consiste en dos fotodetectores de estado sólido con diferentes respuestas espectrales, la primera generándose en el espectro ultravioleta-visible-infrarrojo, y la segunda generándose en el espectro visible-infrarrojo, de manera que la intensidad de luz UV podría ser calculada por diferenciación de las dos señales. El dispositivo conectaba la salida de los dos fotodiodos en paralelo inverso, e incluía el circuito para monitorizar el nivel de radiación UV, que podía activar una válvula solenoide y/o una alarma. El sistema monitorizaba la radiación UV y el sensor requería electricidad del circuito

65

asociado. La patente fue asignada a WaterHealth International para su uso en países en desarrollo (US 6,429,438 B1).

Desde este fotodetector de radiación UV inicial de bajo coste, destinado para la desinfección solar de agua hasta la actualidad ha habido poca investigación sobre este tema. Los recientes hallazgos corresponden a publicaciones y patentes de 2011 en adelante. Los indicadores dosimétricos de radiación UVA que utilizan pigmentos azoicos, como el azul de metileno o el naranja ácido de AO24, son otras opciones que están siendo desarrolladas en la actualidad. Estos sensores se basan en la completa decoloración del pigmento cuando se degrada después de recibir la dosis de radiación solar para la inactivación de patógenos. Cuando el indicador está en la oscuridad y en presencia de oxígeno, es reoxidado de nuevo hacia el azul de metileno, constituyendo un sistema reversible. Estos únicamente miden la radiación UVA.

Otra posibilidad es utilizar un sensor pasivo del promedio de exposición a radiación UV, que consiste en un anillo no curado de material fotocromático de sellado curable por radiación ultravioleta situado alrededor de la región del cuello y la tapa de una botella de plástico, patentado por R. Lantis et al. La principal desventaja es la imprecisión de la medición ya que se basa en el cambio de color. Los sensores UV basados en los cambios de color se han utilizado tradicionalmente para aplicaciones de exposición al sol de la piel, dando una indicación global del contenido de radiación UV y el peligro para la salud asociado con la exposición al sol. En general este tipo de detectores no proporciona datos suficientes para la desinfección solar ya que únicamente mide un promedio de la dosis de radiación UV con una incertidumbre elevada.

A partir del documento US 2012/0318997 A1 se conoce un sensor de radiación UV para determinar el grado de desinfección del agua en una botella de plástico. El sensor comprende una o más células solares con filtros de transmisión de radiación UV que van a sujetarse a la botella. Finalmente, otro sensor de radiación UV para SODIS, el sensor del sistema WADIS, que consiste en un detector UV que monitoriza la radiación UV. El valor UV integrado se compara a una curva característica para determinar el grado de desinfección del agua, ajustado con un factor que depende de la temperatura del líquido, que también se mide. Requiere una batería, que se alimenta mediante células solares. Se encuentra actualmente en desarrollo, y mide la radiación UV y la temperatura.

Otra técnica conocida es la de los sensores de pasteurización solar del agua (SWP, del inglés solar water pasteurizer o pasteurizador solar de agua): un tipo de indicador SWP se basa en fundir una cera de su estado sólido a líquido y a continuación cambiar su forma o localización, así como el WAPI (del inglés Water Pasteurization Indicator, o indicador de pasteurización). El WAPI es un tubo de policarbonato que contiene una cera en la parte superior que se funde a 69°C. Se coloca dentro de un contenedor de agua bajo SWP, y cuando el agua alcanza la temperatura de pasteurización el calor fundirá la cera, que se desplazará desde la parte superior hasta el fondo del tubo, lo que indica que la pasteurización ha sido completada.

Otro indicador de pasteurización se basa en materiales con diferentes expansiones térmicas que podrían interactuar y realizar un cambio en la geometría, tal como un disco bimetálico que debido a las diferentes expansiones térmicas de los dos metales cambiará su forma hacia una posición diferente. Estos sensores se encuentran actualmente en desarrollo.

En general, los principales parámetros que van a ser monitorizados en las tecnologías de desinfección solar son: la duración de la luz solar (SODIS), irradiancia global (SODIS, pasteurización solar), irradiancia UV (SODIS) y temperatura del agua (SODIS, pasteurización solar). La duración de la luz solar se mide a partir de los datos proporcionados por un pirheliómetro o un piranómetro. El coste de los equipos comerciales asciende a 14.000€ para el pirheliómetro y el seguidor solar, y hasta 500-3.000€ para el piranómetro. La irradiancia global se mide mediante un piranómetro. Por otro lado, la irradiancia UV requiere un radiómetro UV dedicado, con costes entre 250€ y 6.000€. Finalmente, la temperatura del agua se obtiene mediante un sensor de temperatura por inmersión en líquido, que puede costar hasta 90€. Estos costes actuales son demasiado altos y no son asequibles para este tipo de aplicaciones en áreas de desarrollo.

El objetivo de este trabajo es diseñar un sensor de agua limpia de bajo coste para las tecnologías de desinfección solar en países en desarrollo. Este artículo presenta el nuevo diseño, fabricación y ensayo de un sensor de agua limpia basado en células fotovoltaicas, que muestra que este tipo de sensores son viables y a un bajo coste.

Los sensores basados en células solares calibradas se han utilizado ampliamente en la tecnología fotovoltaica para monitorizar el rendimiento de las plantas fotovoltaicas o plantas FV. Estas células solares se denominan "células de referencia" y sus características y calibración se definen en el estándar internacional IEC 60904. Calculan la irradiancia solar a partir de su fotocorriente generada, que depende del número de fotones y de su distribución espectral. Pero la irradiancia solar medida depende de la respuesta espectral de la célula, que se extiende desde el rango UV hasta el NIR (del inglés near-infrared o infrarrojo cercano), de manera que no mide la irradiancia solar de banda ancha, como hace el piranómetro. De manera que no pueden utilizarse como radiómetros para medir los datos climatológicos totales de forma precisa, sino para medir la irradiancia solar que está disponible para un módulo FV para la conversión de energía, ya que tanto la célula de referencia como el módulo FV tienen la misma respuesta espectral.

Es conocida la diferencia entre utilizar piranómetros y células de referencia cuando se monitoriza el rendimiento de las plantas FV, proporcionando una comparación entre piranómetros y células de referencia cuando se utilizan para medir la eficiencia de la tecnología FV en condiciones de referencia y cuando se utilizan como radiómetros. Cuando se utilizan para medir la eficiencia de módulos FV, la célula de referencia coincide con la respuesta espectral del módulo FV, así que es más precisa. El piranómetro mide el espectro de banda ancha (radiación UV a FIR, del inglés far-infrared o infrarrojo lejano) y la respuesta necesita ser corregida para la tecnología FV. Por el contrario, un piranómetro es ideal para medir el clima (el espectro entero) pero la célula de referencia será considerada insuficiente (únicamente radiación UV a NIR). Se utilizan células de referencia en lugar de piranómetros para monitorizar el rendimiento de las plantas FV porque son un dispositivo de referencia coincidente que proporciona una mejor y más realista estimación de la salida de energía esperada de una planta FV.

En resumen, una célula solar fotovoltaica puede medir la irradiancia global y la temperatura de la célula (y a partir de esta última estimar la temperatura del agua), con los costes actuales que pueden ser de hasta 0,1-1€/célula. Como los principales parámetros de monitorización requeridos en la desinfección solar son la duración de la luz solar, la irradiancia global, la irradiancia UV y la temperatura del agua, aún se necesita estudiar si una célula solar fotovoltaica podría ser utilizada para calcular la duración de la luz solar y la irradiancia UV.

Algunos autores han estudiado si una célula solar fotovoltaica puede medir la duración de la luz solar (SD, del inglés sunshine duration). La duración de la luz del sol está definida por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, del inglés World Meteorological Organisation) como el número de horas durante las cuales la irradiancia solar directa está por encima de 120W/m². Este es el "método pirheliométrico", ya que requiere un pirheliómetro para medir la irradiancia directa. La WMO también especifica un "método piranométrico", utilizando únicamente la irradiancia global medida por un piranómetro y un algoritmo dedicado. Otros métodos piranométricos se basan en parámetros climáticos tales como la irradiancia horizontal global, la latitud, longitud, turbidez, temperatura, etc. Calculan límites numéricos para "condiciones despejadas" y a continuación comparan los datos reales en sub-periodos de aproximadamente un minuto para calcular la duración de la luz solar. Estos métodos de cálculo de la SD son muy precisos, pero requieren un equipo costoso tal como un pirheliómetro, un seguidor solar o un piranómetro, los cuales son asequibles para una estación climática meteorológica pero no para aplicaciones diarias en países en desarrollo.

Una célula solar fotovoltaica puede ser utilizada para medir la irradiancia global tal como se ha expuesto anteriormente, con una respuesta espectral que incluye radiación UV, visible y NIR. Pero también nos gustaría medir directamente únicamente la irradiancia UV. A medida que la célula mide la radiación UV, visible y NIR, una posibilidad sería utilizar un filtro óptico que bloquea toda la luz excepto la del rango UV, pero estos filtros específicos son demasiado caros para este tipo de aplicaciones.

DESCRIPCIÓN DE LA INVENCION

La solución propuesta se basa en el uso de células solares fotovoltaicas como sensores de agua limpia para la desinfección solar para reducir el coste. Pueden ser utilizadas para medir tanto la irradiancia como la temperatura de la célula. En primer lugar, la corriente de corto circuito generada (I_{sc}) aumenta linealmente como una función de la irradiancia recibida. Por lo tanto, una célula solar puede ser utilizada para medir la irradiancia total recibida durante el día. En segundo lugar, la tensión a circuito abierto (V_{oc}) de la célula solar disminuye linealmente con la temperatura, siendo utilizada generalmente como un indicador de la temperatura de la célula. Esto significa que la célula también puede ser utilizada como un termómetro, e incluso estimar si el agua en la parte superior de una célula encapsulada ha alcanzado una determinada temperatura o no, y durante cuánto tiempo.

La solución propuesta permite la medición directa de la radiación UV con una célula solar FV mediante al menos dos células solares y tantos filtros como sean necesarios, principalmente un filtro de bloqueo de radiación UV de bajo coste para una de las células, que bloquea únicamente la parte UV del espectro. La primera célula mediría la irradiancia solar global (que comprende UV, Visible y NIR), y la segunda célula estaría por debajo del filtro UV de bajo coste, midiendo la irradiancia solar global excepto la radiación UV (Visible y NIR). Diferenciando la respuesta de las dos células, tendríamos únicamente el componente UV de la irradiancia. Esta sería una solución de bajo coste, ya que la célula solar es asequible actualmente debido al auge de la industria FV y a la caída de los costes de las tecnologías del silicio, con un coste de 0,1-1€ por célula dependiendo de la tecnología, y cualquier filtro UV podría ser un filtro UV no costoso procedente de la industria de la fotografía o de la protección de cristales y películas de seguridad, con costes por debajo de 10€/m².

Se proporcionan sensores que utilizan células solares fotovoltaicas que proporcionan información acerca de la irradiancia recibida, la temperatura, la irradiancia UV y la duración de la luz solar. Un aspecto clave del diseño es la medición de la irradiancia UV. Se utilizan dos células idénticas, una de ellas con un filtro de bloqueo de radiación UV de bajo coste en la parte superior, de manera que la irradiancia UV total puede ser calculada como la diferencia entre la salida de las dos células solares. La primera célula estaría midiendo la radiación UV-VISIBLE-NIR y la segunda únicamente la radiación VISIBLE-NIR. Se exploró sobre el material del filtro UV y se seleccionó una película arquitectónica de bajo coste. Los costes de materiales para el primer prototipo fueron de aproximadamente

4€, excluyendo la mano de obra. El ensayo inicial también incluía experimentos con agua real contaminada con E. coli, mostrando la viabilidad del sensor de la invención.

5 Debido a que las células solares fotovoltaicas son capaces de medir la irradiancia global, la temperatura de la célula, la duración de la luz del sol y la irradiancia UV, el objeto de la invención es un sensor para la tecnología SODIS. La desinfección solar que utiliza radiación UV y temperatura requiere más parámetros para ser monitorizada que la pasteurización solar. Para la pasteurización solar, podría realizarse fácilmente una simplificación del sensor.

10 El sensor de la invención comprende principalmente dos unidades, cada unidad básica comprendiendo al menos dos células FV encapsuladas independientemente de la misma tecnología. La primera es la "unidad de referencia", con una de las células incluyendo un filtro de bloqueo de radiación UV en la parte superior. Esta unidad puede medir la irradiancia global, la irradiancia UV y la duración de la luz solar. Una segunda unidad de dos células se sitúa debajo de la botella de plástico transparente ("unidad del agua"), midiendo la irradiancia global a través de la botella (y de este modo obteniendo alguna información sobre la turbidez del agua y la irradiancia que es utilizada realmente en el proceso de desinfección), y la temperatura de la célula. Si la célula que está midiendo la temperatura tiene el área suficiente, la temperatura del agua sobre la misma puede ser estimada directamente. Si este no es el caso, puede utilizarse un sensor de temperatura de bajo coste aislado eléctricamente con silicona y situado en la tapa de la botella para medir la temperatura del agua. Cualquier medición puede ser recogida y enviada a una unidad de procesamiento para utilizar dichos datos de medición como datos de entrada para propósitos de tratamiento o evaluación del agua.

15 En resumen, el sensor comprende cuatro células, dos directamente debajo del sol como una referencia y dos debajo de la botella de plástico; más un sensor de temperatura en la tapa de la botella. Esta configuración permite la medición de todos los parámetros relevantes para la desinfección solar, incluyendo: irradiancia global, irradiancia UV, duración de la luz del sol, irradiancia global debajo de la botella y la temperatura del agua. Toda esta información debería ayudar a determinar si el proceso de desinfección del agua ha terminado y si es seguro o no beber el agua.

20 Se ha fabricado un primer sensor que puede ser utilizado en el sistema SODIS, pero adaptado a la pasteurización solar del agua. Los aspectos detallados del diseño, tales como tamaño y materiales, se describen a continuación, seguido del proceso de fabricación final. El sistema SODIS utiliza botellas de PET transparentes. En general, los tamaños más comunes para las botellas de PET utilizadas en el sistema SODIS son botellas pequeñas de 1-2 l. El principal problema del diseño para el sensor basado en células solares es que la botella es redonda y las células convencionales que se iban a utilizar en este primer sensor eran planas, de manera que tienen que minimizarse las pérdidas ópticas entre las células planas y la botella redonda para la unidad de agua del sensor (la que se sitúa debajo de la botella). Se utilizaron células solares alargadas de poco grosor para este propósito, calculando el tamaño más apropiado para las células solares del sensor a partir de las dimensiones de la botella. Pueden hallarse elementos de cálculo, donde se analizaron diferentes tamaños de botellas que se encontraban en un rango de 1,5l a 2l, estudiando sus diámetros además de las partes planas alargadas en las que localizar el sensor. Finalmente, se encontró que eran adecuadas las células de 4mm-6mm de ancho y hasta 36mm de largo.

25 La selección de materiales puede dividirse en la célula solar y el resto del encapsulado en un módulo completo, más los filtros UV de bajo coste. En lo que respecta a las células solares, eran células solares de silicio monocristalino del Instituto de Energía Solar (IES-UPM) en Madrid, España. Las células eran células solares de tipo LGBC (del inglés Laser Groove Buried Contact), fabricadas originalmente por BP Solar, con un tamaño inicial de 6mm x 116mm. La eficiencia media de las células fue de 16.8% en condiciones estándar o STC (por sus siglas en inglés) y el coeficiente de temperatura VOC fue -2,3mV/°C. Las células se cortaron a una longitud de 30mm, de manera que el tamaño de la célula solar final para el sensor fue de 6mm x 30mm. El encapsulado se basó en una cubierta de vidrio de 1mm que consistía en un portaobjetos de microscopio de vidrio transparente, una cubierta de silicona transparente (Wacker Silgel 612) y una cubierta posterior de Tedlar® negro, que son materiales estándar en módulos FV. Se seleccionó Tedlar® negro para evitar reflexiones no deseados en las células que se utilizan como sensores.

30 Para el filtro UV de bajo coste, las posibilidades exploradas fueron utilizar un filtro UV convencional de fotografía, que consistía en un filtro de Hama® de 62mm de diámetro y 1,78 de grosor; o una película arquitectónica de ventanas para la protección y seguridad del vidrio proporcionada por la compañía portuguesa Impersol Lda, la película Lumar SCL SR PS4 de 0,1mm de grosor. Se analizó la transmitancia de ambos filtros utilizando un espectrofotómetro de radiación UV-Visible. Un portaobjeto de cuarzo de 1mm se utilizó también como referencia. Los datos proporcionados por el fabricante de la película fueron: un vidrio para ventana transparente de un grosor de 3,75mm sin película tenía un 83% de transmitancia solar total, 90% de transmitancia de luz visible y 29% de rechazo de UV. Con la película SCL SR PS4 encima, la ventana logró un 81% de transmitancia solar total, el 89% de transmitancia de luz visible y 95% de rechazo de radiación UV. El fabricante del filtro UV de cristal no proporcionó ninguna información acerca de la transmitancia espectral. A partir de los datos relacionados con la transmitancia de tanto el filtro de cristal como la película de cuarzo de 1mm. Puede observarse que la transmitancia del filtro de cristal

Hama en la radiación UV es mayor que la de la película. Corta a una menor longitud de onda de 329nm, lo que permite que pase la luz UV, con un bloqueo final de UV en general del 59%. La película UV en el portaobjeto transparente rechaza el 90% de la radiación UV total con una longitud de onda de corte de 383nm, contra el 95% de rechazo de radiación UV proporcionada por el fabricante. Alcanza el 88% de transmitancia de la luz visible contra el 90% de transmitancia de luz visible proporcionada por el fabricante. Estas diferencias se deben principalmente al diferente tipo de cristal utilizado como soporte para la película. Como referencia, el portaobjeto de cuarzo bloquea únicamente un 8% de la radiación UV total. La película arquitectónica fue seleccionada finalmente como un filtro UV de bajo coste.

5

10

De manera que el filtro de bloqueo de radiación UV o el filtro UV está dirigido a:

- bloquear la luz UV que alcanza a las células solares, desde la radiación UV total hasta las bandas de UV únicas, principalmente radiación UVA.
- estar diseñado para el exterior.
- ser aplicado encima de una célula encapsulada.

15

Posibles diseños para el filtro de bloqueo de UV o el filtro UV.

a) Película arquitectónica UV de la industria

* Aplicada directamente sobre la célula si está preparada para el exterior (como en el artículo)

* Si no, aplicada sobre un cristal transparente (que transmite luz UV) y a continuación sobre la célula de cara hacia la parte de abajo, posiblemente con una fina capa de encapsulante para reducir las pérdidas ópticas (se adjuntan algunas instrucciones sobre cómo utilizar estas películas en ventanas)

20

Materiales del filtro: PET + aditivos UV + adhesivo

bloqueo UV: 95-99% (hojas de datos adjuntas, datos obtenidos al final del documento).

b) Filtro de cristal de fotografía

25

* Aplicado directamente sobre la parte superior de la célula con una capa delgada de encapsulante en el medio.

Materiales del filtro: Cristal + aditivos UV

Bloqueo UV: Para ser analizado, dependerá de la calidad del filtro. El utilizado no bloqueó mucho en realidad (datos al final del documento).

c) revestimiento UV sobre cristal

30

* Cristal con un revestimiento de absorción de radiación UV en la parte superior. Aplicado directamente con una delgada capa de encapsulante

Materiales del filtro: Cristal transparente + capa de un material de absorción de radiación UV (p.ej. TiO₂, ZnO, etc.)

Bloqueo UV: Dependiendo de las características de revestimiento del material.

d) PET Comercial/polímero con absorbentes de UV

35

* PET Comercial con absorbentes de UV directamente sobre la célula con encapsulante. Dependiendo de la estabilidad del exterior, encapsulado con un cristal transparente, de forma similar a la opción a-2, pero con dos capas de encapsulante fino (artículo sobre PET con absorbentes, artículo sobre la degradación de PET adjuntos).

Materiales del filtro: Cristal transparente + capa de un material absorbente de UV (p.ej., TiO₂, ZnO, etc)

40

Bloqueo de UV: Dependiendo de las características de revestimiento del material.

Finalmente, es necesario considerar que el objetivo no es medir la irradiancia UV total de forma precisa, sino la irradiancia UV que está disponible para el proceso de purificación de agua, es decir, la irradiancia UV que alcanza el agua dentro de la botella, incluyendo las pérdidas de transmisión cuando la luz atraviesa la botella de PET.

45

La Fig. 2 muestra las transmitancias de la botella de PET, cortando en 325nm y por lo tanto utilizando únicamente la luz UVA (320nm-400nm); y el portaobjeto transparente más la película UV, cortando en 383nm.

50

DESCRIPCIÓN DETALLADA DE LA INVENCION

El proceso de fabricación comenzó con el corte de las células solares originales de 6mm x 116mm al tamaño requerido de 6mm x 30mm. La célula se cortó únicamente en el largo. Se realizó en las instalaciones de CENTESIL (Centro de Tecnología de Silicio Solar) en Madrid, utilizando una sierra automática. Después de cortar, las células se midieron en un simulador solar de interior (AM1.5G) bajo condiciones estándar o STC en los laboratorios IES-UPM, obteniendo el ISC para adaptar las células a las unidades de sensor. La siguiente etapa fue conectar las células a las pestañas de conexión (Fig. 3a), lo que se realizó mediante soldadura en placa caliente utilizando pasta de soldadura (Sn-Ag). Una vez que las células se soldaron, se preparó el Tedlar® y se colocaron las células en la parte superior para el encapsulado. Para el encapsulado se utilizó una silicona transparente de dos componentes, Wacker Silgel 612, en una relación de 1,5:1. Se mezcló y a continuación se sometió a vacío para retirar las posibles burbujas de aire y a continuación se vertió en el Tedlar y las células, cubriendo con la cubierta de vidrio (Fig. 3b). El curado se realizó a temperatura ambiente (24h a 25°C).

60

Después del encapsulado, se soldaron los cables a las pestañas y a continuación se conectaron a terminales de tornillo, en los que se conectaron los cables externos de 0,5m cada uno (Fig. 3 c). Entonces las unidades se fijaron en cajas pequeñas que protegen el cableado y tienen suficiente espacio para incluir la electrónica del sensor en el futuro. Se añadió sílice para evitar la humedad. Se conectaron unas resistencias de derivación de 0,1Ω-1% a las células que medirán el ISC. La Fig. 3d muestra la unidad de sensor final. La película de filtro UV no fue incluida en este punto ya que se necesitaba que las células fueran calibradas en primer lugar de manera que tengan la misma referencia.

Caracterización inicial: la calibración inicial consistió en una exposición inicial a la luz del sol para reducir los efectos de la degradación inicial de fotones y estabilizar las células y una calibración de exterior. Se realizó en la Universidad de Jaén (Jaén, España). La exposición inicial consistió en exponer la célula solar para un total de 5kWh/m² a circuito abierto, de acuerdo con el estándar IEC 61215 “módulos fotovoltaicos (FV) terrestres de silicio cristalino para uso terrestre. Cualificación del diseño y homologación”

Para la calibración de exteriores se siguieron las especificaciones del estándar internacional IEC-60904-2 – “Dispositivos fotovoltaicos. Parte 2: Requerimientos para células solares de referencia”. Con las células solares en el seguidor se midió el ISC de tres de las células, además del VOC y la temperatura de la cuarta célula. La irradiancia global en el plano normal se midió por un piranómetro situado en el seguidor. Se obtuvieron los principales parámetros de referencia del sensor, que se convirtieron en condiciones estándar (STC) de ensayo, 1000W/m² y 25°C, siendo:

$I_{(SC,Célula_1)}^* = 54,78\text{mA}$
 $I_{(SC,Célula_2)}^* = 55,22\text{mA}$
 $I_{(SC,Célula_3)}^* = 56,23\text{mA}$
 $V_{(OC,Célula_4)}^* = 594,12\text{mV}$

Ensayo.

Después de la calibración inicial, se sometió a ensayo el rendimiento del sensor de agua limpia. Se realizaron cuatro tipos de ensayos, incluyendo un ensayo inicial que mide la irradiancia global en el espacio de un día y calcula la duración de la luz solar, ensayos que miden la irradiancia UV con el nuevo sensor UV, un ensayo con agua corriente y experimentos preliminares con agua contaminada. El objetivo de estos ensayos fue determinar si el nuevo sensor proporciona datos de utilidad para ayudar a monitorizar la calidad del agua. Se analizaron los principales parámetros: irradiancia global, duración de la luz solar, irradiancia global bajo la botella, irradiancia UV y temperatura del agua. En el experimento preliminar con agua contaminada, estos parámetros fueron comparados con los valores de referencia proporcionados en la literatura para el proceso SODIS, para determinar si el agua estaba limpia o no, y con el análisis microbiológico.

Irradiancia global y duración de la luz del sol.

Para verificar el rendimiento del sensor como grabador de la duración de la luz solar, el sensor se sometió a diferentes días de exposición bajo luz del sol natural y sus datos de salida se compararon con un piranómetro horizontal global de referencia. Las Figs. 5a y 5b muestran el rendimiento de las células del sensor cuando se utilizan para medir la irradiancia horizontal global en comparación con los datos de referencia del piranómetro. Se representan dos diferentes condiciones climáticas, correspondiente al clima soleado y nublado, y se muestra una buena coincidencia entre la irradiancia global medida por las células FV y la irradiancia global de referencia proporcionada por el piranómetro.

De la irradiancia horizontal global medida por la célula 1, se calculó la duración de la luz solar y el resultado se comparó con la duración de la luz solar calculada por el pirheliómetro y piranómetro de la estación meteorológica. Tanto para el piranómetro y la célula, el método seleccionado fue el de Olivieri.

Irradiancia UV.

La irradiancia UV se mide por el sensor utilizando dos células, una de ellas con la película UV adherida a la superficie frontal (Fig. 4a). Los ensayos consistieron en medir la salida de UV del sensor nuevo y a continuación compararla con la salida UV de un sensor UV global de referencia (Fig. 4b). Se observa una buena correlación entre las dos señales UV, con el sensor UV que mide aproximadamente un 87% de la irradiancia UV total medida por el radiómetro UV de referencia. Esta diferencia se explica primero porque el sensor UV global de referencia mide la radiación UV total, incluyendo la UVA y UVB, y el nuevo sensor mide únicamente la parte UVA del espectro UV, de acuerdo con la longitud de onda de corte del filtro. Otra razón para diferencias entre los sensores es el uso de un vidrio transparente en el sensor de referencia UV y un vidrio estándar en la célula encapsulada del sensor, que tiene diferentes transmitancias globales.

Finalmente, el material de soporte de la película UV es PET y no vidrio, que limita la transmitancia de la luz. Puede pensarse que esto no es una buena solución para un sensor UV de bajo coste, pero es necesario considerar el

sistema que requiere el sensor, en este caso botellas SODIS. Utilizan el mismo material que el sensor, PET, y por lo tanto la radiación UV registrada por el sensor FV será realmente la misma que la que están utilizando las botellas SODIS. Este valor UV será más útil y preciso para detectar agua limpia. La solución del sensor FV adopta el mismo principio que las células solares utilizadas como sensores de irradiancia global en plantas eléctricas de la misma tecnología, pronosticando de forma más precisa el rendimiento real de las plantas FV. En resumen, se concluye que la medición UV que utiliza este método es viable para las tecnologías de desinfección solar.

Irradiancia global bajo la botella y temperatura del agua

Este tercer grupo de ensayos consistía en utilizar una botella de PET llena con agua corriente y las dos células del sensor FV de agua limpia debajo, y a continuación exponer la botella a la luz solar a lo largo del día. La configuración del experimento consistía en una botella de 1,5l (86 mm de profundidad del agua) que fue situada horizontalmente y orientada de norte a sur, con el sensor debajo; y con la tapa especial de botella con el sensor de temperatura introducido y un pequeño grifo para tomar muestras para futuros experimentos. Las condiciones climatológicas durante el experimento correspondieron a un día soleado, tal como se indica en la Fig. 6a por la irradiancia horizontal global. La Fig. 6a también proporciona la irradiancia que alcanza el fondo de la botella. Puede observarse que durante las horas centrales del día la radiación debajo de la botella aumenta rápidamente, a valores de irradiancia hasta tres veces la irradiancia global medida por la referencia. Existe un efecto de concentración en la parte inferior de la botella en la célula, debido a la forma circular de la botella y el agua limpia que actúa como una lente, concentrando la luz del sol en un área más pequeña, en este caso medida por la célula. Durante el espacio del día, la irradiancia global acumulada es 23,2MJ/m² y la irradiancia acumulada en el fondo de la botella es 22,9MJ/m², prácticamente la misma debido al factor de concentración. Sin esta concentración, la irradiancia en el fondo de la botella debería haber sido de aproximadamente 2,8MJ/m², ya que la mayoría de la luz del sol se debería haber absorbido en el agua. Esto podría significar que la forma circular de la botella está en realidad transmitiendo la mayoría de la luz durante el efecto de concentración y no absorbiéndola, lo que puede tener dos efectos diferentes en el proceso de purificación del agua cuando el agua es transparente en comparación con una bolsa de agua de la misma profundidad. En primer lugar, podríamos pensar que este efecto aceleraría el proceso, ya que parece que obtenemos más luz hacia el fondo de la botella. Pero esto significa que la luz del sol no está siendo absorbida a través de la botella, de manera que las primeras capas de agua podrían no verse afectadas por la desinfección por UV, así que podría tener el efecto opuesto, y disminuye el ritmo de inactivación. Por otro lado, la concentración está acumulando irradiancia solar en un área más pequeña, la cual se calentará más rápidamente. Este calor será transferido por conducción al resto de la botella y contribuirá a aumentar la temperatura del agua, mejorando la desinfección del agua. Este efecto de concentración se debe a la baja turbidez del agua y se espera que disminuya con valores de turbidez más elevados. Se requiere un análisis más en detalle para determinar si tiene algún efecto significativo en el proceso de purificación del agua.

La Fig. 6b representa la temperatura ambiente, temperatura del agua y temperatura de la célula. La temperatura del agua medida por el sensor de bajo coste llega a un máximo de aproximadamente 35°C y a continuación se estabiliza. Durante el periodo de concentración, la temperatura de la célula también aumenta, hasta un máximo de 75°C, a continuación del perfil de concentración.

Desinfección solar de agua para agua con E.coli

El último ensayo utilizó botellas SODIS para purificar agua contaminada con un microorganismo real, bacterias E.coli, y evaluó el rendimiento del sensor comparando la información del sensor con el análisis microbiológico del agua.

Previo al propio experimento, se realizó también un análisis bibliográfico sobre los principales parámetros del proceso de desinfección solar, incluyendo dosis de UV, dosis de irradiancia global, temperatura del agua, etc., para identificar el parámetro o la combinación de parámetros más adecuados para normalizar los criterios de detección de agua limpia sobre la purificación solar del agua.

Se requiere conocer los principales criterios para el agua limpia en la desinfección solar para desarrollar un sensor adecuado. En general, el sistema SODIS establece los principales criterios como una combinación de los parámetros de tiempo y clima, que consisten en 6h en un día soleado o entre 2-3 días si está nublado. Pero ser más específico implica estudiar los otros parámetros principales: irradiancia UV, irradiancia global y temperatura del agua; se analizó la principal bibliografía científica sobre la desinfección del agua con luz solar real (no luz simulada) para extraer los principales valores de estos parámetros. Este problema de determinar la radiación requerida para una inactivación completa de microorganismos ya fue descrito por Bandala et al. en 2011 cuando desarrollaron sensores de agua limpia para SODIS basados en pigmentos azoicos.

Este análisis se dividió en tres grupos de patógenos que podrían estar presentes en el agua: bacterias, virus y protozoos. La mayoría de los trabajos realizados con luz del sol real utilizaron un sistema para controlar la temperatura del agua, y únicamente unos pocos de ellos permitían que la temperatura siguiera el perfil natural bajo el sol, que es más realista cuando se calculan los ritmos de inactivación y las correspondientes dosis. Pero los experimentos con control de temperatura proporcionan información acerca del efecto de la temperatura y el cálculo

de las dosis de irradiancia UV e irradiancia global a diferentes temperaturas. En general, existe la sensación de que únicamente un parámetro no es suficiente para definir los criterios de agua limpia cuando se utiliza la desinfección solar y por radiación UV, sino una combinación de parámetros incluyendo tiempo, dosis de UV, irradiancia global, temperatura del agua, y sus distribuciones a lo largo del día.

En general, los trabajos muestran que los efectos sinérgicos de la temperatura y la radiación UV son únicamente relevantes cuando la temperatura del agua es de más de 45h. Las bacterias entéricas y los virus requieren dosis más pequeñas UV y de irradiancia global que los protozoos (en estos trabajos, *Cryptosporidium parvum*), que son más resistentes a la desinfección solar. Otra observación general es que no hay un re-crecimiento de bacterias (*E. coli*) en el agua tratada de forma natural con la luz del sol durante periodos que se encuentran en un rango de 5 días a 2 semanas después del tratamiento. Finalmente, la comparación entre las dosis de UV y la irradiancia global entre los diferentes trabajos de investigación es realmente difícil debido a la disparidad del equipo utilizado (que varían en rangos espectrales) y las diferentes configuraciones adoptadas en los experimentos. Sin embargo, es necesario analizar los estudios y entender los principales hallazgos y las limitaciones mencionadas previamente para establecer un criterio de agua limpia para la desinfección solar.

Considerando los criterios proporcionados en el manual del sistema SODIS, se presentó una propuesta de una combinación de parámetros medidos por el sensor FV de agua limpia para decidir cuándo el agua está limpia. Se establecieron los límites, de manera que se cubrieron la mayoría de las dosis de inactivación tanto para bacterias entéricas como para virus. Estos fueron los criterios de agua limpia propuestos para el sensor cuando la turbidez del agua está por debajo de 30NTU:

Duración de la luz del sol > 6h.

Irradiación global acumulada con temperatura del agua por encima de 30°C > 9MJ/m2.

Irradiación global acumulada con temperatura del agua por encima de 30°C en el fondo de la botella > 4,5 MJ/m2.

Radiación UV acumulada con temperatura por encima de 30°C > 375kJ/m2.

Ensayo preliminar con botellas de SODIS y *E.coli*; se realizó un ensayo preliminar con un microorganismo real en el agua, *E.coli*, para someter a ensayo la idoneidad del nuevo sensor. El ensayo se realizó en las instalaciones de IMDEA Agua (Alcalá de Henares, España).

La *E.coli* utilizada fue aislada previamente de aguas residuales reales y se conservó como una suspensión en 100 ml de agua de peptona tamponada a 4°C. Se añadió 1ml de la preparación de células bacterianas a una botella de PET para SODIS de 1.500ml enjuagada y desinfectada por radiación UV artificial durante 1 hora, y a continuación se llenó con agua Milli-Q filtrada (0,22µm). La botella se preparó siguiendo las directrices del sistema SODIS, primero llenando hasta el 75% de la capacidad, a continuación, agitando durante 20s, y finalmente llenando completamente. Se prepararon un total de 8 botellas, 6 para la exposición a la luz solar (una por hora), y 2 para control (una en el laboratorio y una en el exterior en la sombra).

Las botellas SODIS estaban configuradas con una orientación N-S bajo la luz del sol natural durante 6 horas junto con el sensor que monitoriza la irradiancia global, la irradiancia UV, la irradiancia bajo la botella y la célula y la temperatura del agua en la tapa, más una pequeña estación meteorológica que mide la irradiancia horizontal global, la irradiancia UV y la temperatura ambiente. Se registraron los datos automáticamente en intervalos de 30s. Cada hora, una botella fue retirada para el análisis microbiológico.

El análisis microbiológico se realizó siguiendo el método estándar para la detección y enumeración de *Escherichia coli* y bacterias coliformes en agua potable mediante la técnica de filtración por membrana utilizando agar cromogénico para coliformes (CCA, del inglés chromogenic coliform agar). Las muestras se filtraron inicialmente a través de un filtro de membrana de 0,45µm. Las muestras se diluyeron previamente, si era necesario, para obtener entre 20 y 200 colonias por filtro, con factores de dilución de hasta 104 utilizando agua Milli-Q esterilizada. Cada muestra fue filtrada tres veces y a continuación fueron transferidas a placas de Petri con un agar cromogénico para coliformes (CCA, Scharlau 1-695) preparado con el Suplemento Selectivo para Coliformes CV (Scharlau). Las placas de Petri fueron incubadas a 36°C ± 1 durante 18-24h y después se determinaron los conteos de las placas, enumerando las *E.coli* como colonias de azul oscuro a violeta (CFU/100mL).

Condiciones climáticas durante el experimento: En general, fue un día soleado, pero con viento, con nubes rápidas pasando, y cayendo la de irradiancia a niveles bajos cada vez que una nube cruzaba por delante del sol. Del sensor, la Fig.6a muestra la irradiancia de la botella en comparación con la de irradiancia global. Puede observarse un efecto de concentración nuevamente en la célula, aunque esta vez es menor (quizás debido a la diferente orientación de la botella, la tapa de la botella estaba de cara al norte en lugar de al sur; o la presencia de bacterias en el agua).

En cuanto a las temperaturas (Fig. 6b), la temperatura ambiente era de 20°C de media, variando debido a que era un día muy ventoso con aire frío. La temperatura de la célula solar era de aproximadamente 15°C por encima de la temperatura ambiente, pero no sigue el perfil de concentración debido a las nubes rápidas que pasan, de manera que la inercia térmica de la célula no puede seguir los rápidos cambios. Finalmente, la temperatura del agua de la botella con el sensor fue de 24°C de media, no alcanzando los 30°C en ningún momento. El pico observado es probablemente causado por el efecto de concentración. Durante este experimento el sensor de temperatura en el interior de la botella está de cara al sur, de manera que no está protegido de la exposición al sol dentro de la botella, alcanzando en un determinado momento un pico de concentración que alcanza casi los 100°C.

Con las botellas SODIS expuestas al sol real y las muestras de control mantenidas en la oscuridad, observamos cómo la E.coli está siendo inactivada, reduciendo la población de bacterias con la exposición solar. La muestra correspondiente a la 6ª hora presenta un aumento en la población bacteriana, posiblemente debido a diferentes condiciones de exposición, ya que es la única botella colocada no directamente en el suelo sino sobre el sensor, más expuesta al viento y con menos irradiancia reflejada del suelo, lo que conduce a una exposición a temperatura reducida y una irradiancia reducida. Una inactivación más lenta explicaría este resultado diferente. Otras posibles causas serían el re-crecimiento de bacterias, pero esto sería improbable debido al uso de las mismas condiciones climáticas. Tras 5h bajo la luz del sol natural, la reducción de la E.coli en las botellas del suelo es del 96%. A partir del análisis microbiológico del agua, el agua estaba aún “no limpia”.

A partir de los datos monitorizados por el sensor, se calcularon los principales parámetros requeridos para decidir si el agua está limpia o no de acuerdo con los criterios propuestos para la detección de agua limpia. La tabla a continuación muestra los parámetros obtenidos comparados contra los criterios propuestos, en los que no se cumplen ninguno de los criterios de agua limpia. La duración de luz del sol alcanza aproximadamente 5h debido a las nubes rápidas, mientras que la irradiación global acumulada es de 17,3MJ/m², la irradiación global acumulada es de 13,4MJ/m² y la radiación UV acumulada es de 528kJ/m², pero todo con una temperatura del agua por debajo de 30°C. Con estos datos, la decisión sería de “agua no limpia”, lo que concuerda con los datos microbiológicos. Sin embargo, sería necesario realizar experimentos extensos para validar los criterios propuestos, y sería también interesante establecer un nuevo conjunto de criterios de agua limpia utilizando los mismos parámetros, pero para el caso de temperaturas inferiores.

Tabla: Criterios propuestos de agua limpia basados en la duración de la luz del sol, la irradiación global, la irradiación global a través de la botella y la irradiación UV; y valores calculados para el experimento realizado (21 de mayo de 2013), que no cumplen los criterios para agua limpia.

En resumen, el sensor de bajo coste es capaz de monitorizar diversos parámetros relevantes al método SODIS, incluyendo la duración de luz solar, la irradiación global, la temperatura del agua y la irradiación UV, más un parámetro adicional que es la irradiancia a través de la botella. Esta información puede ser utilizada para determinar si el agua está limpia o no después de la desinfección solar de acuerdo con unos criterios propuestos que tienen que ser adicionalmente analizados, mejorados y validados.

El sensor descrito en el presente documento requiere un sistema de monitorización de datos, es decir, se requiere por tanto un registrador de datos o unidad de procesamiento. En una realización preferida, ya se ha desarrollado un registrador de datos con alta resolución utilizando una plataforma basada en Arduino.

REIVINDICACIONES

1. Dispositivo de desinfección del agua que comprende:
- una botella de plástico destinada a contener agua para ser desinfectada; y
 - un sensor que mide un conjunto de parámetros que emite un conjunto de parámetros medidos caracterizado por que el sensor comprende:
 - una primera unidad situada sobre la botella que mide, al menos, la irradiancia global, la irradiancia UV y la duración de la luz solar, donde dicha primera unidad comprende:
 - dos células solares idénticas; y
 - un filtro de bloqueo de radiación UV situado sobre la parte superior de una de dichas células solares de la primera unidad
 - una segunda unidad situada debajo de la botella que mide, al menos, la irradiancia global a través de la botella, donde dicha segunda unidad comprende
 - dos células solares idénticas; y
 - una unidad de procesamiento conectada a dichas primera y segunda unidades;
 en donde el conjunto de parámetros medidos son los parámetros medidos por la primera y la segunda unidades y la unidad de procesamiento compara el conjunto de parámetros medidos con datos predeterminados para decidir si es seguro beber el agua.
2. Dispositivo de desinfección de agua según la reivindicación 1, donde el plástico es PET transparente, lo que permite el paso de luz.
3. Dispositivo de desinfección de agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 o 2, que además comprende un sensor de temperatura conectado a la unidad de procesamiento y operativo para medir la temperatura del agua.
4. Dispositivo de desinfección de agua según la reivindicación 3, donde el sensor de temperatura está dispuesto en una tapa de la botella.
5. Dispositivo de desinfección de agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, donde la botella tiene un volumen comprendido entre 1 y 2 litros.
6. Dispositivo de desinfección de agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, donde las células solares de la segunda unidad tienen un ancho comprendido entre 4mm y 6mm y una longitud de hasta 36mm.
7. Dispositivo de desinfección de agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 6, donde las células solares son células solares de silicio monocristalino.
8. Dispositivo de desinfección de agua según la reivindicación 7, donde las células solares están encapsuladas en una cubierta de vidrio, una silicona transparente y una película de fluoruro de polivinilo de color negro como contracubierta.
9. Dispositivo de desinfección de agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, donde el filtro de bloqueo de radiación UV comprende al menos un absorbente de radiación UV seleccionado del grupo que consiste en: película UV, filtro de vidrio, vidrio con revestimiento UV y polímero con absorbentes de radiación UV.
10. Sensor de agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, donde las células solares comprenden un vidrio transparente.
11. Dispositivo de desinfección del agua según la reivindicación 10, donde el vidrio transparente se sitúa de cara hacia abajo y además comprende al menos una capa de encapsulante dispuesto para reducir las pérdidas ópticas.
12. Método para la desinfección solar del agua comprendido en un dispositivo de desinfección del agua según cualquiera de las reivindicaciones 1 a 11, caracterizado por que el método comprende las etapas de:
- a) calcular la irradiación UV medida;
 - b) calcular la duración de la luz solar medida;
 - c) comparar la irradiación UV medida y la irradiación de la luz solar medida con sus valores respectivos en un conjunto de parámetros predefinidos;
 - d) decidir si es seguro beber el agua en vista de la comparación de la etapa c).
13. Método para la desinfección solar del agua, según la reivindicación 12, caracterizado por que el conjunto de parámetros además comprende la temperatura del agua, y porque el método una etapa e) de medir la temperatura del agua y la etapa c) además comprende comparar la temperatura medida con un valor del conjunto de parámetros.
14. Método para la desinfección solar del agua, según la reivindicación 12, donde la temperatura es medida mediante una célula solar.

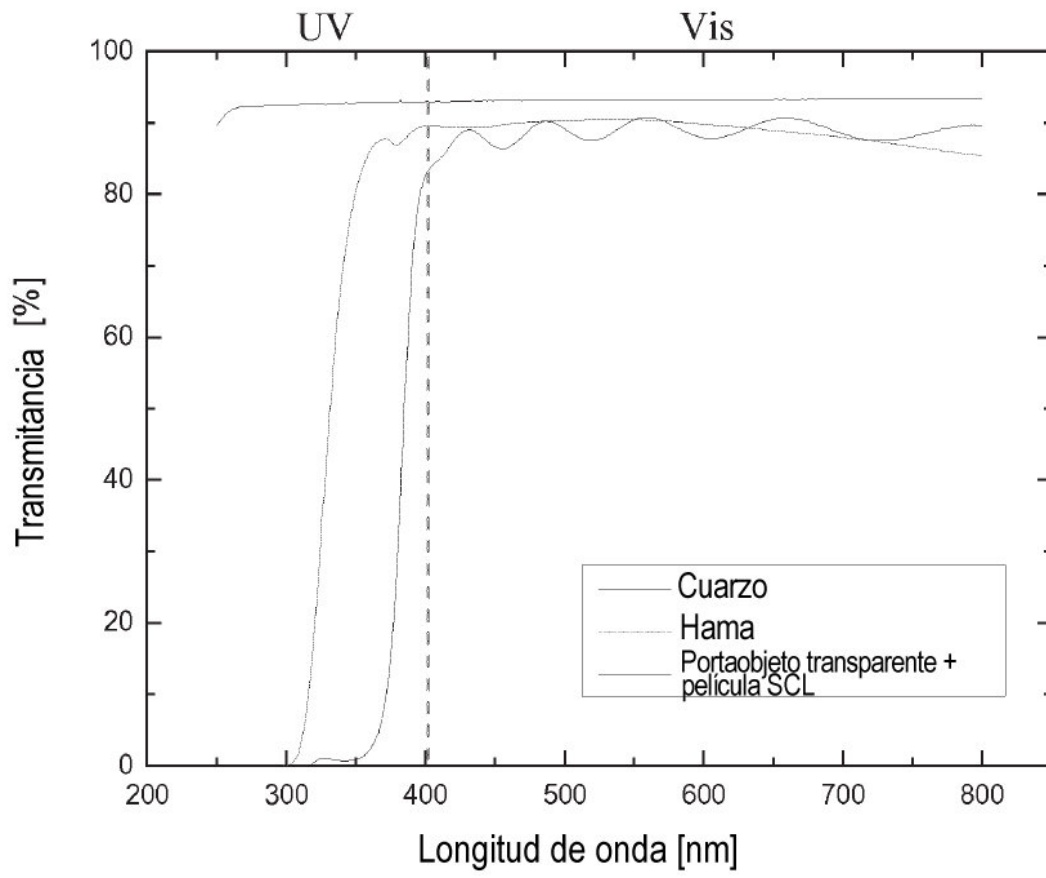


Fig. 1

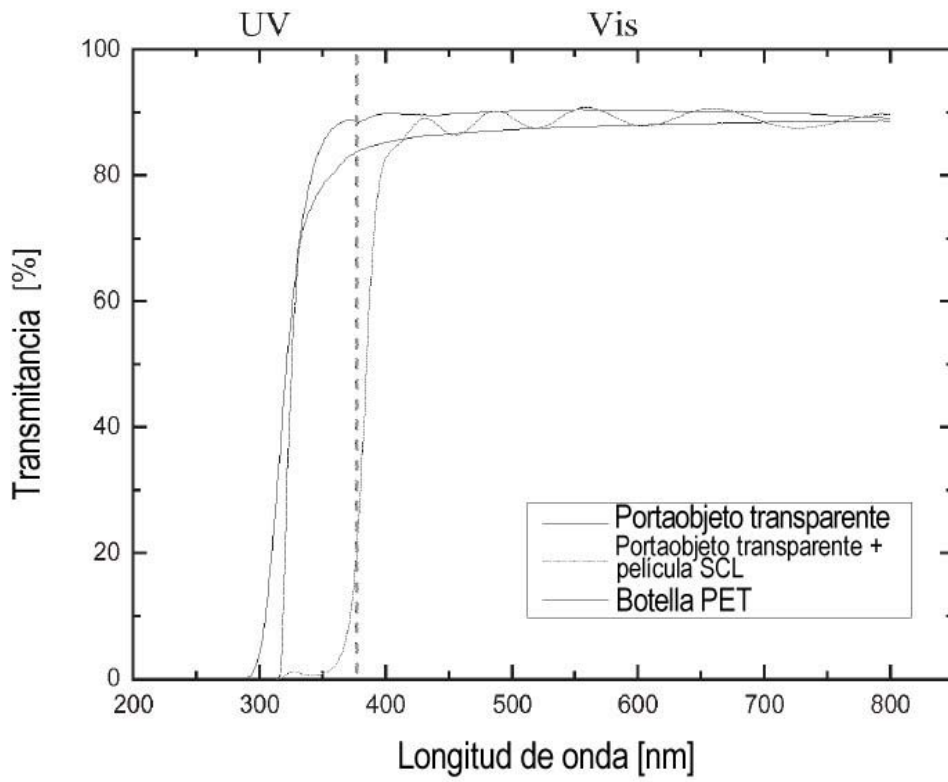
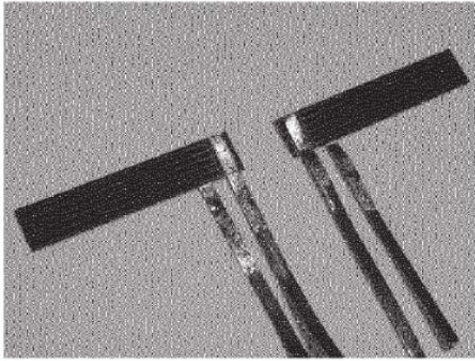
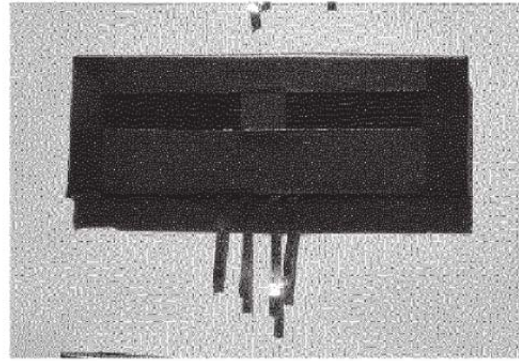


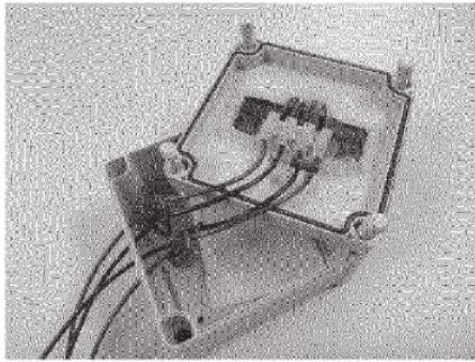
Fig. 2



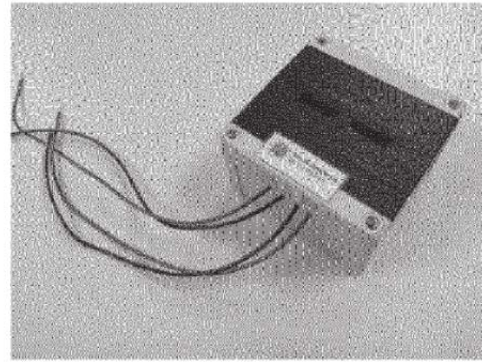
(a)



(b)

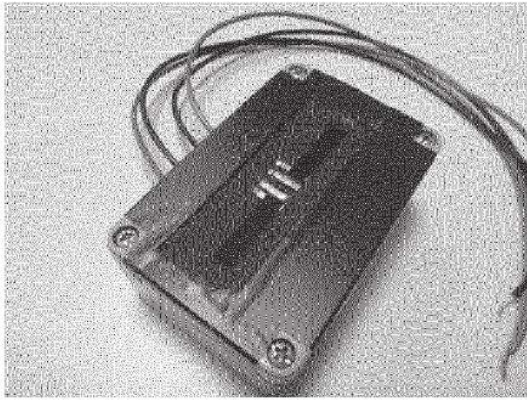


(c)

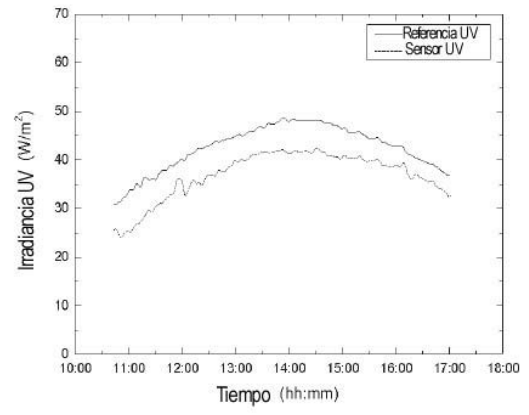


(d)

Fig 3

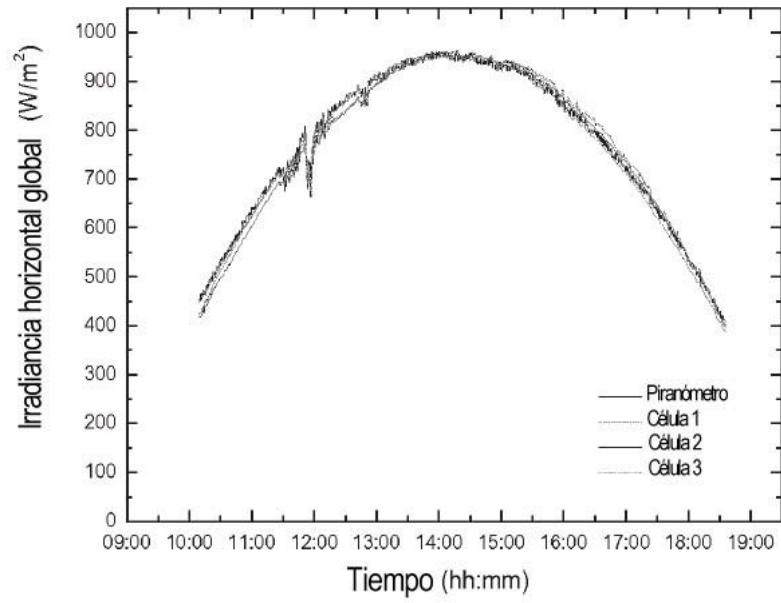


(a)

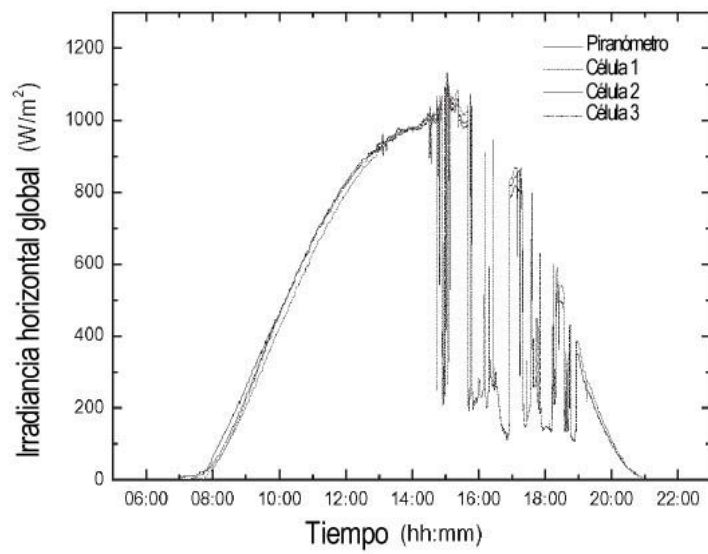


(b)

Fig. 4

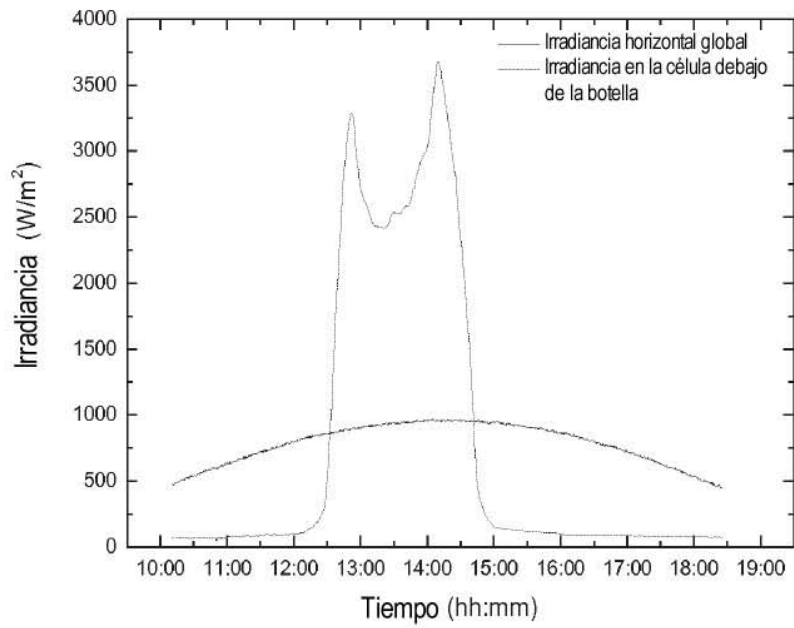


(a)

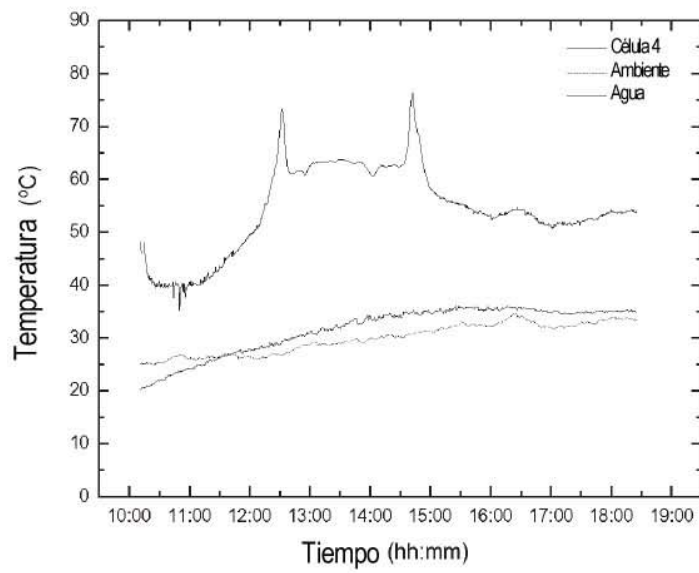


(b)

Fig. 5



(a)



(b)

Fig. 6