

SISTEMA DE GENERACIÓN DE PLASMA Y MÉTODO DE DESINFECCIÓN

CAMPO TÉCNICO

5 La composición del presente desarrollo pertenece al campo de los dispositivos para generar plasma, particularmente para la generación de plasma frío. La generación de plasma frío es aplicable a abrasión y corte de materiales, modificación de sustancias químicas, fusión nuclear, y tratamientos médicos o cosméticos cutáneos, y especialmente para desinfección y esterilización de superficies y aire, entre otros.

10

DESCRIPCIÓN DEL ESTADO DE LA TÉCNICA

A lo largo de los años, el uso del plasma frío ha venido incrementándose en diferentes áreas gracias a sus propiedades de control de temperatura, síntesis y descomposición molecular, generación de radiación ultravioleta y visible y sus características electromagnéticas. Uno de los campos donde se usa el plasma frío es en la agricultura, donde se utilizó este tipo de plasma durante la germinación y el crecimiento de semillas de trigo, mostrando un incremento de las tasas de crecimiento, así como en el incremento de algunos de los componentes esenciales para su desarrollo. Del mismo modo, el campo de acción del plasma frío se puede extender a la desinfección y esterilización, que es aplicable a múltiples industrias tales como a la alimentación, en donde la actividad antimicrobiana ayuda conservar y extender el tiempo de vida y consumo de los alimentos. Adicionalmente, en la medicina, por ejemplo, se han realizado estudios de cómo el plasma frío podría erradicar células cancerígenas y así se podría convertir en un tratamiento de cáncer y disminuir el tamaño de los tumores. Adicionalmente, es común encontrar problemas en tratamiento bacteriano debido a la creciente resistencia de antibióticos y algunos otros tratamientos, por lo que el uso de plasma frío se ha expandido a estos ámbitos y se puede considerar como una barrera antimicrobiana en aplicaciones médicas y veterinarias.

Para el caso de desinfección y esterilización, se han realizado diferentes desarrollos que hacen uso de electrodos aplicando una diferencia de potencial bajo ciertos parámetros correspondientes. Por ejemplo, la patente US 10,729,798 presenta un sistema para inactivar microorganismos patógenos mediante la aplicación de plasma frío a cajas de Petri con un único electrodo de gran tamaño. Sin embargo, esto genera ciertas consecuencias, tales como que el espacio de acción sea muy reducido con respecto al dispositivo para la generación de plasma.

Otros desarrollos proponen el uso de arreglos de electrodos que proveen la ventaja de superar la unidireccionalidad en su funcionamiento. Ejemplos de estos arreglos se puede ver en WO 2021/188744, donde existe un flujo de aire a través de unas láminas con agujeros rodeadas de electrodos. Junto a esto, también se encuentran el caso de EP 2069047 B1, el cual contiene

bloques de arreglos lineales de electrodos con carga intercalada y el caso de US 2021/0233746, donde existen arreglos de electrodos alrededor de una cámara de tratamiento. Sin embargo, estos diseños presentan la problemática de que sus geometrías y los materiales a usar para su construcción pueden llevar a elevados costos de fabricación y no permitirían la adquisición viable a cualquier público.

Además, es importante resaltar que en la generación de plasma frío, uno de los subproductos generados es el ozono. Inclusive, hay equipos de generación de plasma con el objetivo de producir ozono por sus características de desinfección y oxidación y gracias a que los parámetros del plasma pueden ser cambiados fácilmente. Sin embargo, uno de los problemas del ozono es que es tóxico para el humano y su posible daño es de acuerdo con el tiempo y a la concentración expuesta. Por eso, es importante que este sea procesado o removido si el objeto generador de plasma se encontrará expuesto o en contacto con humanos. Por ejemplo, propone el uso de películas catalíticas para la remoción de ozono en cabinas de aviones, el cual permite disminuir la cantidad de ozono presente. No obstante, el diseño de este sistema es para grandes aplicaciones y requiere elementos de alto costo.

Por lo tanto, persiste la necesidad de desarrollar generadores de plasma con electrodos con geometrías que permitan efectivamente la generación de plasma frío, a costos accesibles. En complemento, es necesario proveer un generador plasma que permita controlar y/o eliminar la producción de ozono a niveles no tóxicos para humanos.

BREVE DESCRIPCIÓN

En un primer aspecto, el presente desarrollo hace referencia a un generador de plasma frío (100), el cual comprende una fuente de voltaje (110) y un electrodo (120). En el generador de plasma frío, es posible complementar el electrodo (120) con uno o más electrodos (120) para conformar una matriz de electrodos (130). Dicho electrodo (120) es tridimensional y está conformado por una pared dieléctrica (121), un conductor (122), y una cavidad hueca (123). La configuración resultante del generador de plasma frío (100) permite garantizar la generación de plasma (101) en un volumen determinado, junto con la generación controlada de ozono (102), un cambio de temperatura superior a 160 °C y radiación ultravioleta en la banda de 300 nm a 400 nm, a bajo costo tanto de fabricación como de operación. Esta generación de plasma frío no requiere un suministro constante de ningún compuesto o gas reactivo, sino únicamente la presencia natural de nitrógeno en el aire del ambiente.

En un segundo aspecto, el presente desarrollo hace referencia a un generador de plasma frío (100), el cual comprende una fuente de voltaje (110) y un sistema recuperador de ozono (140). El sistema generador de plasma comprende una fuente de hidrógeno (141), la cual

inyecta una corriente de hidrógeno H₂ (142) al ozono generado en el proceso de generación de plasma, y utiliza la generación de plasma (101) como un catalizador para transformar el ozono (102) disponible y el hidrógeno disponible (142) en agua y oxígeno. Este sistema permite disponer de una fuente de plasma segura, en espacios habitables y transitables por humanos, mitigando los riesgos de intoxicación.

El generador de plasma frío (100) puede ser utilizado en aplicaciones de limpieza, propulsión, síntesis y modificación de sustancias químicas, en aplicaciones médicas y estéticas, entre otras. Especialmente, el generador de plasma frío (100) puede ser utilizado en desinfección y esterilización de superficies y aire.

En un tercer aspecto, el presente desarrollo hace referencia a un método para desinfección y esterilización (200), que comprende los pasos de identificar el objetivo a desinfectar y esterilizar (210), parametrizar las condiciones de desinfección y esterilización (220), exponer (230) el objetivo a desinfectar a uno o más electrodos (120) o una matriz de electrodos de un generador de plasma frío (100), y desinfectar y esterilizar (240) por medio de la generación de plasma (101). En una posible presentación de la invención, el método también comprende el paso de recuperar (250) partículas en el/los electrodo/s. En una posible presentación de la invención, el método también comprende el paso de recuperar ozono (260). El método presenta las ventajas de ser seguro para las personas, es escalable y no utiliza productos químicos o físicos consumibles.

BREVE DESCRIPCIÓN DE LAS FIGURAS

Figura 1: Representación de la generación de plasma, en donde en la Figura 1A se muestra una representación del sistema de generación de plasma que comprende una fuente de voltaje (110) y un electrodo (120). En funcionamiento, el sistema generador de plasma forma plasma (101) y ozono (102) alrededor del electrodo (120). En la Figura 1B, se muestra una representación del sistema de generación de plasma que comprende una fuente de voltaje (110) y una matriz de electrodos (130), la cual está compuesta de electrodos (120). En la Figura 1C, se muestra una representación del sistema de generación de plasma que comprende una fuente de voltaje (110), un electrodo (120), y un recuperador de ozono (140).

Figura 2: Representación detallada del electrodo (120), el cual está compuesto de una pared dieléctrica (121), un conductor (122), y una cavidad hueca (123).

Figura 3: Representación de algunas de las múltiples formas que puede tomar el electrodo (120).

Figura 4: Representación de algunas configuraciones que pueden tomar los electrodos (120) que conforman la matriz de electrodos (130), en donde la Figura 4A muestra electrodos contiguos, mientras que la figura 4B muestra electrodos concéntricos.

5 Figura 5: Representación de algunas configuraciones que pueden tomar los electrodos (120) que conforman la matriz de electrodos (130), y su carga eléctrica inducida.

Figura 6: Representación de la fuente de voltaje (110), en donde se muestran algunos de sus posibles componentes internos y su señal generada (114) para alimentar al electrodo (120) o
10 matriz de electrodos (130).

Figura 7: Representación del generador de plasma (100), en donde se detalla la configuración del sistema de recuperación de ozono (140).

15 Figura 8: Representación física del generador de plasma (100), en donde se muestra una de múltiples disposiciones espaciales que pueden tener sus componentes.

DESCRIPCIÓN DETALLADA

20 La presente invención presenta un generador de plasma (100) que permite la generación de plasma en un volumen determinado, sin la necesidad de utilizar un suministro constante de gases reactivos, sino que, en cambio, permite la generación de plasma a partir de la presencia de nitrógeno en el aire del ambiente. En complemento, la presente invención presenta un generador de plasma (100) que permite la recuperación de ozono, el cual es generado de
25 manera residual en el proceso de generación de plasma (101). El generador de plasma puede ser implementado en múltiples sectores y aplicaciones, tales como cultivos verticales en la asepsia del aire y superficies utilizadas, preservación de alimentos e insumos en bodegas, síntesis de productos químicos para desinfección de superficies, reducción de riesgo microbiológico en lugares cerrados de poca ventilación en sectores de educación, transporte
30 y hotelería, entre otros.

La presente invención también presenta un método de desinfección y esterilización por plasma, en el cual se logra la eliminación de virus y bacterias en aire y/o superficies por la combinación de tres factores: plasma, ozono, y altas temperaturas. Una vez se genera el
35 plasma (101) en el sistema generador de plasma (100), se combinan los efectos de alto voltaje, alta temperatura y liberación de ozono que garantizan la eliminación de virus y bacterias. Por una parte, la radiación ultravioleta altera el material genético desactivando los agentes microbiológicos. Por otra parte, La alta temperatura permite destruir la membrana celular. Por otra parte, la exposición directa a los iones generados por el alto voltaje, permite
40 la oxidación de estructuras superficiales y disrupción de las cápsides causando lisis.

En una presentación de la presente invención, el generador de plasma (100) comprende una fuente de voltaje (110) y un electrodo (120), en donde el electrodo es un electrodo tridimensional que comprende una pared dieléctrica (121), un conductor (122), y una cavidad hueca (123).

El electrodo tridimensional (120) puede tomar múltiples formas, tales como forma alargada, forma con un área transversal circular, ovalada, triangular, cuadrada, poligonal, regular o irregular; forma con un área transversal con bordes curvos o rectos; o forma en espiral, entorchado, de resorte, sinusoidal; entre otras. En una presentación preferida la forma del electrodo (120) es cilíndrica. En una presentación más preferida, la forma del electrodo (120) es la de un tubo de ensayo.

En diferentes presentaciones de la invención, el o los extremos del electrodo (120) pueden estar abiertos o cerrados, y tener una terminación recta o curva.

La pared dieléctrica (110) es una pared sobre la cual se genera el plasma (101). La pared dieléctrica (110) está compuesta por un cerámico o un polímero resistente al plasma y radiación. De preferencia, el material es vidrio. La pared dieléctrica puede tener un grosor entre 0.5 mm y 1 cm, de preferencia tiene un grosor de 0.9 mm.

El conductor (122), en unas presentaciones, es un conductor inerte sólido distribuido en una capa conductora en contacto con la pared dieléctrica (110), que induce la formación del plasma en el costado opuesto de la pared dieléctrica (110). El grosor de la capa conductora es de mínimo 500 μm . En casos en que se encuentre en el costado interno de la pared dieléctrica (110), su grosor puede alcanzar el contenido completo del electrodo (120). En caso de que se encuentre en el costado externo de la pared dieléctrica (110), el grosor puede alcanzar una distancia desde 500 μm hasta estar en contacto con un segundo electrodo. Este conductor puede seleccionarse de materiales tales como oro, platino, acero inoxidable, cables de nanotubo de carbono, entre otros. De preferencia, este conductor es aluminio. De manera más preferente, es aluminio con una capa de óxido de aluminio.

El conductor (122), en otras presentaciones, es un conductor líquido de preferencia inerte contenido dentro de la cavidad hueca (123), el cual induce la formación del plasma en el costado opuesto de la pared dieléctrica (110), y en complemento permite realizar acoplamientos de carga con materiales o superficies circundantes en las que se genera el plasma. Este conductor puede seleccionarse de agua desionizada, agua miliQ, o disolución de NaOH, entre otros, o combinaciones de ellos.

La cavidad hueca (123), típicamente, es una cámara conformada por la pared dieléctrica (123). En unas presentaciones, la cavidad hueca puede contener aire, o un gas inerte o noble, tal como N₂, O₂, O₃, o combinaciones de ellos. En otras presentaciones, la cavidad hueca (123) puede contener el conductor (122) en estado líquido.

5

En otra presentación, el generador de plasma comprende una matriz de electrodos (130), la cual está compuesta de dos o más electrodos (120). En la matriz de electrodos (130), los electrodos pueden disponerse de manera contigua o concéntrica. Para lograr la generación de plasma, se generan cargas contrarias (positiva y negativa) entre cada par de electrodos que se encuentren próximos.

10

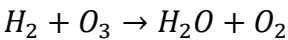
En presentaciones en la que la matriz de electrodos (130) esté conformada por electrodos (120) contiguos, la matriz puede conformarse de j filas y k columnas. La cantidad j de filas y la cantidad k de columnas dependerá de la energía disponible de la fuente de alto voltaje y del tiempo de duración del pulso. En diferentes presentaciones, las filas de electrodos se encontrarán alineadas, donde cada electrodo podrá estar alineado inmediatamente sobre o debajo de otro electrodo. En otras presentaciones, las filas podrán tener un desfase en donde cada electrodo se encuentra en un ángulo entre 1° y 45° con respecto a un electrodo superior o inferior.

15

20

En otro aspecto de la invención, el generador de plasma frío (100), comprende una fuente de voltaje (110) y un sistema recuperador de ozono (140). El sistema generador de plasma comprende una fuente de hidrógeno (141), la cual inyecta un flujo de hidrógeno H₂ (142) al ozono generado en el proceso de generación de plasma, y utiliza la generación de plasma (101) como un catalizador para transformar el ozono (102) disponible y el hidrógeno disponible (142) en agua y oxígeno.

25



En una presentación preferida de la invención, el generador de plasma frío (100), comprende la fuente de voltaje (110), el electrodo (120) o la matriz de electrodos (130), y el sistema recuperador de ozono (140). De manera preferencial, en el sistema recuperador de ozono (140), se ubica la fuente de hidrógeno (141) debajo del electrodo (120) o matriz de electrodos (130). De esta manera, el ozono (102) que cae por gravedad se recombina con el hidrógeno H₂ inyectado para producir oxígeno O₂ y agua.

30

35

En una presentación de la invención, la fuente de hidrógeno (141) produce hidrógeno H₂ por medio de hidrólisis de agua. El agua utilizada para la hidrólisis está ubicada en un contenedor. Algunas posibles fuentes de agua para hidrólisis son: llenado periódico manual o automático, llenado por condensación del aire disponible de manera natural o por medio de un dispositivo

40

condensador (142), recuperación de agua resultante del proceso de recuperación de hidrógeno, entre otras.

5 En una posible presentación de la invención, el generador de plasma frío (100), comprende sensores de ozono O₃, dióxido de carbono CO₂, hidrógeno H₂, y oxígeno O₂, entre otros.

10 En otro aspecto de la invención, se hace referencia a un método para desinfección y esterilización (200), que comprende los pasos de identificar el objetivo a desinfectar y esterilizar (210), parametrizar las condiciones de desinfección (220), exponer (230) el objeto a desinfectar a uno o más electrodos (120) o una matriz de electrodos de un generador de plasma frío (100), y desinfectar y esterilizar (240) por medio de la generación de plasma (101). En una posible presentación de la invención, el método también comprende el paso de recuperar partículas en el/los electrodo/s (250). En una posible presentación de la invención, el método también comprende el paso de recuperar ozono (260).

15 En el paso de identificar el objetivo a desinfectar y esterilizar (210), se selecciona entre desinfectar y esterilizar aire o superficies. Las superficies a desinfectar pueden seleccionarse de, sin limitarse a, piel, plantas, agua, tela, metales, pantallas electrónicas, plásticos, fómites, entre otras.

20 En el paso de parametrizar las condiciones de desinfección y esterilización (220), se asignan los siguientes parámetros de operación del sistema generador de plasma (100) para llevar a cabo la desinfección y esterilización:

- Número de electrodos
- 25 • Ubicación contigua matricial
 - Tipo de matriz
- Ubicación concéntrica
- Distancia entre electrodos
- Voltaje
- 30 • Tiempo de activación
- Distancia entre el/los electrodo/s al objeto de la desinfección y esterilización

Los valores preferidos asignados para los parámetros de acuerdo a cada uno de los objetos a desinfectar y esterilizar son los siguientes:

Objetivo a desinfectar	Número de electrodos	Ubicación contigua matricial	Tipo de matriz	Ubicación concéntrica	Distancia entre electrodos	Voltaje	Tiempo de activación	Distancia entre el/los electrodo/s al objeto de la desinfección y esterilización
Aire	4, 12	SI	2x2, 3x4	SI	0.5 mm a 1 mm	12 kV a 16 kV	10 μs a 28 μs	NA
Piel	1	NA	NA	NA	NA	12 kV a 14 kV	22 μs a 26 μs	0 mm a 1 mm
Plantas	1, 4, 12	Si	1x1, 1x4, 2x2, 3x4	NA	0.5 mm a 1 mm	12 kV a 16 kV	25 μs a 40 μs	1 m a 2.5 m
Agua	1	NA	NA	SI	NA	12 kV a 16 kV	25 μs a 30 μs	2 mm a 3 mm
Tela	2, 4, 6	SI	1x2, 1x4, 1x6, 2x2, 3x2	NA	0.5 mm a 1 mm	12 kV a 13 kV	10 μs a 28 μs	0 mm a 2 m
Metales	1, 4, 12	Si	1x1, 1x4, 2x2, 3x4	NA	1 mm a 2 mm	12 kV a 16 kV	25 μs a 30 μs	5 mm a 10 mm
Pantallas electrónicas	2, 4, 6	SI	1x2, 1x4, 1x6, 2x2, 3x2	NA	0.5 mm a 1 mm	12 kV a 13 kV	10 μs a 28 μs	0 mm a 2 mm
Plásticos	2, 4, 6	SI	1x2, 1x4, 1x6, 2x2, 3x2	NA	0.5 mm a 1 mm	12 kV a 13 kV	10 μs a 28 μs	0 mm a 2 m
Otros	1, 2, 4, 6, 12	SI	1x1, 1x2, 1x4, 1x6, 2x2, 3x2, 3x4	SI	0.5 mm a 2 mm	12 kV a 16 kV	25 μs	0 mm a 2 m

El número de electrodos para Aire, Plantas, Agua, Tela, Metales, Pantallas electrónicas y Plásticos puede aumentar de acuerdo al área a desinfectar y esterilizar.

5

En el paso de exponer (230) el objetivo a desinfectar a uno o más electrodos (120):

- Para desinfección de aire, circular un flujo de aire de entre 25000 cm^3/s (e.i. 90 m^3/h) y 100000 cm^3/s (e.i. 360 m^3/h), de preferencia 50000 cm^3/s (e.i. 180 m^3/h), entre el/los electrodo(s). En presentaciones de la invención, el flujo de aire puede ser redirigido o recirculado múltiples veces.
- Para desinfección de superficies, acercar el/los electrodo/s a la distancia determinada en el paso (220).

10

En el paso de desinfectar y esterilizar (240) por medio de la generación de plasma (101), inducir una onda de voltaje por un tiempo entre 8 μs y 60 μs , de preferencia 28 μs . La onda de voltaje a inducir está determinada por la ecuación de onda:

15

$$f(t) = \sum_{n=0}^m \begin{cases} HV & (0 + c \times n) \mu s < t < (a + c \times n) \mu s \\ 0 & (a + c \times n) \mu s < t < (b + c \times n) \mu s \end{cases}$$
$$c = a + b$$

Donde HV es el voltaje de funcionamiento del sistema, a es el tiempo activo y b es el tiempo inactivo de la señal de plasma, los intervalos de tiempo medidos en μs .

De manera opcional, el método (200) puede comprender el paso de recuperar particular en el/los electrodo/s (250). En este paso se induce temporalmente un voltaje DC positivo para retener temporalmente partículas, bacterias y virus, los cuales tienen carga negativa. El tiempo para retener las partículas, bacterias, y virus, está entre 1 s y 60 s, de preferencia, 5 s. El voltaje para retener las partículas, bacterias, y virus, está entre 4000 V y 20000 V, de preferencia, 12000 V.

De manera opcional, el método (200) puede comprender el paso de recuperar ozono (260). En la recuperación de ozono (260) se inyecta hidrógeno para mezclar con el ozono y se realizan descargas de plasma como catalizador para recombinar el ozono con el hidrógeno, formando agua e hidrógeno H_2 . De manera preferida, la recuperación de ozono se da por ciclos, en donde cada ciclo tiene una duración de 1.5 veces el tiempo de activación de la barrera de plasma, para 28 μs el tiempo de ciclo de recuperación es 42 μs .

De manera opcional, el agua condensada es recuperada para la posterior generación de hidrógeno.

EJEMPLOS

Ejemplo 1: Fabricación de un electrodo (120) con un conductor (122) metálico empleando un tubo de vidrio cilíndrico en forma de tubo de ensayo y cinta de aluminio.

La cinta se corta en dos partes del ancho igual a 1.25 veces la mitad del perímetro de la circunferencia interna del tubo de ensayo. Los pedazos de cinta se presionan contra un molde cilíndrico de diámetro inferior al interior del tubo de ensayo. Se remueve de la cinta el papel protector para que la parte adhesiva quede en contacto con el interior del tubo de ensayo. Se utiliza un cilindro metálico para colocar la cinta y se fija a la punta pegando del cilindro de aplicación empleando el pegante de la cinta. Se inserta dentro del electrodo y se presiona realizando círculos para pegar la cinta al vidrio. Luego se repite este proceso con la segunda mitad de cinta para recubrir todo el electrodo.

Los electrodos que se llenan con agua adicionalmente emplean un tapón de caucho para sellar el agua dentro del electrodo. La conexión eléctrica se realiza extendiendo el material conductor de aluminio por fuera del borde del electrodo.

Ejemplo 2: Generación de plasma con dos electrodos (120).

Se realiza conectando uno de los electrodos a la fuente de alto voltaje y el segundo electrodo a la referencia de la misma fuente, con una distancia entre los dos electrodos de 0.5 mm. La diferencia de potencial entre los dos electrodos ioniza las partículas en el aire generando una descarga de plasma. La forma de onda que se emplea es la de una señal cuadrada con un tiempo de funcionamiento de 28 μ s, esta señal se repite doscientas veces para luego esperar 0.8 s y repetirla.

El plasma se genera en el segmento de recta de menor distancia en la separación de los dos electrodos. Para el par de electrodos el área de la barrera de plasma es igual a la separación por la longitud de los electrodos. La temperatura en el electrodo conectado a alto voltaje es igual a la temperatura ambiente más o menos 20 °C. La temperatura del electrodo conectado a la referencia es igual a la temperatura ambiente más o menos 5 °C. La temperatura de las partículas de plasma es superior a los 140 °C.

Ejemplo 3: Generación de plasma en una matriz de electrodos 3x3.

Al realizar la conexión intercalada de alto voltaje y referencia en una estructura de 3x3 electrodos, los puntos donde se encuentran segmentos de recta con la menor distancia entre los potenciales de dos pares de electrodos donde se realiza la descarga de plasma se incrementan en 12 veces, entonces para nueve electrodos la cantidad de plasma es 12 veces la multiplicación del área de la longitud de los electrodos por la separación entre ellos. La temperatura en el electrodo conectado a alto voltaje es igual a la temperatura ambiente más o menos 20 °C. La temperatura del electrodo conectado a la referencia es igual a la temperatura ambiente más o menos 5 °C. La temperatura de las partículas de plasma es superior a los 140 °C.

Ejemplo 4: Generación de plasma con un único electrodo con acoplamiento de carga.

Se realiza conectando el electrodo con un núcleo de agua a la línea de alto voltaje de la señal cuadrada. La descarga se realiza al ponerse en contacto con una superficie de potencial bajo como la piel de las personas. La cantidad de partículas que se aceleran es igual a la cantidad de carga negativa disponible en la superficie que se coloca en contacto con el electrodo. Para generar la descarga sobre otras superficies que no tienen carga negativa se puede conectar la referencia del alto voltaje a la superficie de interés. Cuando se genera el plasma por acoplamiento de carga en la piel u otras superficies, la temperatura que se alcanza en el electrodo esta entre 35 °C y 40 °C. La distancia a la que se empieza a generar el plasma es entre 2 mm hasta estar en contacto directo con la superficie de vidrio del electrodo. El vidrio del electrodo sirve como elemento de separación entre los potenciales y previene el corto circuito.

Ejemplo 5: Desinfección de baños con hongos en paredes.

Se realiza la instalación del sistema de barrera de plasma dentro del baño cerrado, para inactivar los hongos en las paredes la barrera de plasma se aplica durante 4 h, con una señal de activación de 28 μ s y un tiempo apagado de 32 μ s, en ciclos de 200 pulsos, con intervalos de 150 ms. Durante las 4 h de inactivación se debe mantener el baño cerrado. Una vez inactivado los hongos para mantener las paredes limpias el sistema se puede mantener funcionando de manera continua con una señal de activación de 20 μ s y un tiempo apagado de 25 μ s, en ciclos de 200 pulsos, con intervalos de 2000 ms. En las noches se cambia a una señal de activación de 20 μ s y un tiempo apagado de 25 μ s, en ciclos de 200 pulsos, con intervalos de 1000 ms.

Ejemplo 6: Desinfección de frutas y verduras.

El sistema de plasma se ubica a 10 cm de las frutas y verduras que se quieren desinfectar, el sistema se corre de manera continua con una señal de activación de 20 μ s y un tiempo apagado de 25 μ s, en ciclos de 200 pulsos, con intervalos de 2000 ms. Se logra durante 20 días mantener la calidad de las frutas sin presentar procesos de descomposición por microorganismos presentes en el aire o en contacto con las frutas y verduras.

Ejemplo 7: Desinfección de flores en invernadero.

Se ubica un sistema de plasma en configuración de matriz 3 x 3 por cada 16 metros cuadrados. El sistema se corre de manera continua con una señal de activación de 30 μ s y un tiempo apagado de 40 μ s, en ciclos de 250 pulsos, con intervalos de 300 ms, en el horario de 11:00 am a 3:00 pm y de 7:00 pm a 8:00 am, mientras las hojas de las plantas tienen las estomas cerradas. En los otros horarios sistema se corre de manera continua con una señal de activación de 30 μ s y un tiempo apagado de 40 μ s, en ciclos de 250 pulsos, con intervalos de 2000 ms. Esto permite eliminar el uso de fungicidas del proceso productivo de las flores en el invernadero. La altura de la barrera de plasma con respecto al suelo se ajusta para mantener una separación de 40 cm a 50 cm de las plantas. El proceso de desinfección se mantiene durante todo el ciclo productivo de las flores. Los sistemas de generación de barrera de plasma se sincronizan mediante un microcontrolador que se encarga de realizar las descargas de plasma de manera asíncrona según la cantidad de equipos que se tienen instalados. La descarga asíncrona permite reducir los picos de corriente por la activación de los sistemas.

Ejemplo 8: Generación de plasma con recuperación de ozono. En una cavidad cerrada de 30 cm de ancho por 30 cm de ancho por 20 cm de alto se ingresa la barrera de plasma con 4 electrodos lineales dispuestos de manera horizontal con un tubo debajo de ellos. Empleando

una fuente de 12 V, se conectan dos electrodos de acero inoxidable inmersos en una solución de cloruro de sodio disuelto en agua en una relación 0.02 g/ml para separar el hidrogeno del agua. El terminal negativo se separa mediante una barrera de vidrio para obtener un flujo de gas hidrogeno en un tubo, el gas hidrogeno se ubica debajo de la barrera de plasma. El plasma se genera de manera continua con una señal de activación de 28 μ s y un tiempo apagado de 30 μ s. Tanto el plasma como la electrolisis se ejecutan de manera constante, después de 5 s se apagan los dos sistemas de plasma y electrolisis, entonces, se realiza el cambio de aire de la cavidad evacuando el aire limpio e ingresando aire contaminado empleando un ventilador. Este proceso logra la esterilización del aire que ingresa a la máquina.

Ejemplo 9: Desinfección de aire.

Empleando la barrera de plasma se realizaron mediciones de inactivación de bacterias y hongos en un espacio de 4 metros de ancho, por 4 metros de largo con una altura de 2 metros. Para evaluar la desinfección se realizaron cultivos de los microorganismos antes y después de realizar la aplicación del plasma en el aire por 2 horas. Las cajas de Petri empleadas para la toma de muestras se dejaron abiertas en el lugar del experimento durante 30 minutos. La medida inicial mostro una microbiología de bacterias aerobias mesófilas de 45 y de mohos y levaduras de 26 las dos medidas mediante el método de recuento en placa por siembra de superficie.

Después de las 2 horas de aplicación de la barrera de plasma generado de manera continua con una señal de activación de 28 μ s y un tiempo apagado de 30 μ s, en ciclos de 200 pulsos, con intervalos de 1000 ms.

A una distancia de 30 cm, se encontró una medida de microbiología de bacterias aerobias mesófilas de 17 y de mohos y levaduras de 10 las medidas mediante el método de recuento en placa por siembra de superficie. A una distancia de 200 cm, se encontró una medida microbiología de bacterias aerobias mesófilas de 19 y de mohos y levaduras de 17 las dos medidas mediante el método de recuento en placa por siembra de superficie.

Ejemplo 10: Desinfección de piel, empleando un solo electrodo con núcleo de agua, se realizó la exposición a plasma generado con una señal de activación de 28 μ s y un tiempo apagado de 30 μ s. Mediante acople de impedancia se realizó la descarga sobre la piel durante 1 minuto realizando un barrido sobre la piel. Se tomaron muestras antes y después de la aplicación de plasma con un isopo de humedecido en solución salina. Antes del plasma la medida de microbiología muestra un conteo de bacterias aerobias mesófilas de 276 y de mohos y levaduras de 136 las medidas realizadas mediante el método de recuento en placa por siembra de superficie. Después de la aplicación de plasma se evidencio una microbiología

de bacterias aerobias mesófilas de 0 y de mohos y levaduras de 0 las medidas se realizaron mediante el método de recuento en placa por siembra de superficie.