

OFICINA ESPAÑOLA DE  
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA

① Número de publicación: **2 331 034**

② Número de solicitud: 200602528

⑤ Int. Cl.:  
**C02F 1/30** (2006.01)

⑫

PATENTE DE INVENCION

B1

⑫ Fecha de presentación: **04.10.2006**

⑬ Fecha de publicación de la solicitud: **18.12.2009**

Fecha de la concesión: **09.06.2010**

⑭ Fecha de anuncio de la concesión: **22.06.2010**

⑮ Fecha de publicación del folleto de la patente: **22.06.2010**

⑰ Titular/es: **DEPURACION POR LÁSER-INFRAERROJO DELAIR, S.L.**  
**Recondo, 2 – 5º G**  
**47007 Valladolid, ES**

⑱ Inventor/es: **Fernández Fernández, Marcelino y**  
**García García, Julio Luis**

⑳ Agente: **Molero Moraleda, Felipe**

⑳ Título: **Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser.**

㉑ Resumen:  
Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser.  
Consiste en un dispositivo a base de una lente divergente (L) de apertura variable adaptado al cabezal terminal de un generador láser que emite radiación dentro del espectro de longitud de onda entre 0,38 y 1000  $\mu\text{m}$ . La lente divergente (L) de forma poligonal, cilíndrica o esférica se utiliza para ampliar el campo de cobertura, distribuyendo el rayo láser (R) sobre la superficie a tratar, irradiando energía calorífica en espacios cerrados y abiertos a tenor de la masa contaminante a eliminar. Sustituyendo a la lente divergente (L), para tratamientos en arquetas, depósitos o similares, se puede utilizar un dispositivo consistente en un elemento metálico (S) reflectante de forma semiesférica, cónica o poligonal ubicado en el fondo de la cavidad, que se encuentra totalmente revestida de una lámina metálica (Lm) igualmente reflectante, de Aluminio, Cobre, Acero inoxidable u otro material similar.

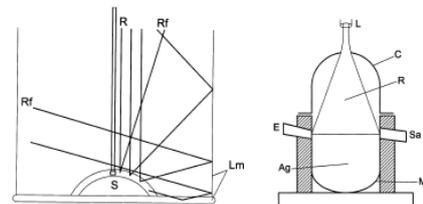


FIG. 2

FIG. 4

ES 2 331 034 B1

Aviso: Se puede realizar consulta prevista por el art. 37.3.8 LP.

## DESCRIPCIÓN

Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser.

## 5 Objeto de la invención

La invención tiene por objeto el tratamiento, desinfección y limpieza de todo tipo sólidos y fluidos (líquidos y gases), caracterizada por utilizar generadores láser de emisión en onda pulsada y continua entre los límites de 0,38 a 1000  $\mu\text{m}$ , a los que se les instala en su cabezal terminal (acoplador de salida) un dispositivo consistente en una lente divergente de seleniuro de zinc (ZnSe), arseniuro de galio (GaAs), fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), germanio (Ge), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) u otro material similar, de apertura variable a tenor de la superficie a tratar. El dispositivo, para tratamientos en arquetas, depósitos o similares, puede consistir en un elemento metálico reflectante de forma semiesférica, cónica o poligonal, ubicado en el fondo de la cavidad, que se encuentra totalmente revestida de una lámina metálica igualmente reflectante de Aluminio, Cobre, Acero inoxidable u otro material análogo. Se encuentra en el campo de aplicación de la tecnología láser Visible (VIS) e Infrarrojo (IR) para la desinfección de microorganismos y limpieza de superficies.

## Antecedentes

DELAIR como propietaria de la patente nº 9201708 "Dispositivo con láser para la depuración de aguas contaminadas", ha venido realizando durante estos últimos años los correspondientes trabajos de Investigación y Desarrollo para la innovación de la patente y su aplicación a diferentes campos.

Partiendo de la fuente de los distintos volúmenes del "The Infrared & Electro Optical System Handbook" y tomando como base el diagrama (figura 3) de la página 266 del VOLUME 1. "Sources of Radiation", en función de la longitud de onda (Wavelength) en  $\mu\text{m}$ , obtenemos el coeficiente de Absorción (Absorption Coefficient) en  $\text{cm}^{-1}$  para cada tipo de radiación. Con dichos parámetros y por aplicación de la Ley de Beerschen, hemos calculado la profundidad de penetración de la Radiación en el agua (Tabla 1), y realizado el correspondiente comparativo energético con la radiación ultravioleta (Tabla 2).

30

TABLA 1

Profundidad de penetración en el agua

$I_t = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot c \cdot d}$  Ley de Beerschen  
 $I_t$  = Intensidad transmitida  
 $I_0$  = Intensidad luz incidente  
 $\alpha$  = Coeficiente de absorción  
 $c$  = Concentración =  $\text{m}/\text{Pm} = 1 \times 10^{-3} / 100 = 10^{-5}$   
 $d$  = Profundidad de penetración  
 $T$  = Transmitancia = 0,60  
 $LI_t = LI_0 - \alpha \cdot c \cdot d \cdot Le$      $\alpha \cdot c \cdot d = LI_0 - LI_t$

$\alpha \cdot c \cdot d = L \frac{I_0}{I_t}$      $I_t = I_0 \cdot T$   
 $\alpha \cdot c \cdot d = L \frac{1}{0,60}$      $\alpha \cdot c \cdot d = L 1,667$

$\alpha \cdot c \cdot d = 0,51 \Rightarrow d = \frac{0,51}{\alpha \cdot c}$

Para generador láser de ND:YAG

Coeficiente absorción  $\alpha = 0,8$

$d = \frac{0,51}{0,8 \times 10^{-5}} = 63.750 \text{ cm} = 637, 50 \text{ m}$

60

Al ser el aire y el agua medios transmisores de la radiación, hemos procedido a efectuar las correspondientes pruebas en el Centro de Tecnología Láser de Castilla y León, con distintas aguas y 2 tipos de rayos láser de diferente longitud de onda ( $\lambda_1 = 1,06 \mu\text{m}$  y  $\lambda_2 10,6 \mu\text{m}$ ), sin efectuar tratamiento previo alguno de Desbaste - Tamizado - Coagulación - Floculación - Decantación o Filtración. Dichas pruebas se encuentran debidamente certificadas por dicho Centro y por el Laboratorio Agroalimentario EPTISA y resumidas en las Tablas 3 y 4.

65

Con posterioridad y en idénticas circunstancias el Laboratorio ALCORA S.A., ha realizado los correspondientes Análisis de aguas de la Presa de Navacerrada, antes y después de ser sometidas a irradiación mediante un generador

TABLA 2

Comparativo energético UV - IR

$N_t = N_0 \cdot e^{-\alpha \cdot Jt}$   
 $N_0$  y  $N_t$  = Nº de bacterias antes y después  
 $\alpha$  = Coeficiente de absorción  
 $Jt$  = Potencia

$LN_t = LN_0 - \alpha \cdot Jt \cdot Le$   
 $\alpha \cdot Jt = LN_0 - LN_t$      $\alpha \cdot Jt = LN_0 / N_t$   
 $LN_0 / N_t = Ln \Rightarrow Jt = Ln / \alpha$

1. Para Ultravioleta

$\lambda_1 = 254 \text{ nm} = 0,254 \mu\text{m}$      $\alpha_1 = 0,05$   
 $J_1 t_1 = Ln / 0,05$

2. Para generador láser IR de CO2

$\lambda_2 = 10,6 \mu\text{m}$      $\alpha_2 = 8$   
 $J_2 t_2 = Ln / 8$

3. Potencias para una misma concentración

$Ln = 0,05 J_1 t_1$

$Ln = 8 J_2 t_2$

$0,05 J_1 t_1 = 8 J_2 t_2 \Rightarrow J_1 t_1 = 160 J_2 t_2$

Para eliminar la misma concentración de microorganismos se necesita una potencia de irradiación UV 160 veces mayor que para IR.

láser de Nd:YAG facilitado por ROFIN BAASEL ESPAÑA, que nos confirmaron su efecto desinfectante tal y como reflejamos en la Tabla 5.

TABLA 3  
Agua del Canal del Duero

Parámetros	Agua canal sin tratar	Agua canal tratada con IR
Sulfatos	5 mg /l.	4 mg / l.
Nitritos	0,01 mg /l.	0,00 mg / l.
Oxidabilidad	2,30 mg /0,2l.	1,82 mg /0,2 l.
Total gérmenes	7.480 /ml.	2.600 / ml.
Coliformes Totales	2.800 /100 ml.	240 / 100 ml.
Coliformes Fecales	880 /100 ml.	43 /100 ml.
Estreptococos Fecales	20 /100 ml.	0 / 100 ml.

TABLA 4  
Agua de la EDAR de Palencia

Parámetros	Agua EDAR sin tratar	Agua EDAR tratada con IR
DQO	15 mg / l.	4 mg / l.
DBO5	10 mg / l.	3 mg / l.
Coliformes Totales	76.000/100 ml.	24.000 /100 ml.
Coliformes Fecales	46.000/100 ml.	11.000/100 ml.

TABLA 5  
Agua de la Presa de Navacerrada

Parámetros	Agua Presa Navacerrada sin Tratar	Agua Presa Navacerrada Tratada 99M
Oxidabilidad	4 mg/l O <sub>2</sub>	1,5 mg/l O <sub>2</sub>
Coliformes Totales	1100 ufc/ml	20 ufc/ml
Coliformes Fecales	460 ufc/ml	15 ufc/ml
Estreptococos Fecales	7 ufc/ml	< 3 ufc/ml

### Descripción de la invención

La radiación desde el espectro visible al infrarrojo lejano comprende las longitudes de onda  $\lambda$  entre 0,38 y 1000  $\mu\text{m.}$ , y en lo referente a la radiación infrarroja hemos de reseñar que no se puede ver sino sentirla en forma de calor.

La desinfección por Radiación es un proceso físico definido por la transferencia de energía electromagnética de una fuente generadora láser al material genético celular de un organismo situado en un sólido o fluido. Los efectos de esta energía son los de incapacitar a la célula a reproducirse y eliminarla por calentamiento, debido a la gran sensibilidad de los microorganismos a las temperaturas altas. La radiación emitida produce reacciones foto-físicas activando los procesos dinámicos en la molécula y la activación electrónica en los átomos, originando un calentamiento en distintos niveles y cambiando a energía calorífica.

La efectividad de la radiación es una relación directa de la cantidad de energía calorífica que es absorbida por los microorganismos. Esta dosis es el producto de la intensidad y el tiempo de exposición a la intensidad. La mayoría de los microorganismos requieren un nivel muy bajo de energía para ser destruidos.

La tendencia actual es la de buscar recursos hídricos alternativos disponibles para riegos agrícolas o de jardines, usos industriales o servicios higiénicos, etc. La reutilización del agua es un elemento del desarrollo y la gestión de los recursos hídricos que proporciona opciones innovadoras y alternativas para la agricultura, el abastecimiento municipal y la industria. Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas, destacando como destino más frecuente el riego agrícola, por lo que la necesidad de reutilizar las aguas residuales se irá incrementando cada vez más. La agricultura en áreas áridas y semiáridas depende casi absolutamente del riego, y

## ES 2 331 034 B1

la demanda de agua para riego representa un porcentaje que supera en muchos casos el 80% de la demanda total de agua.

5 Los elementos presentes en las aguas residuales, que pueden limitar su uso en riego, son los siguientes Sólidos en suspensión, materia orgánica biodegradable (DQO o DB05), patógenos (virus, bacterias, Protozoos o helmintos), nutrientes (carga excesiva de nitrógeno, fósforo ó potasio), materia orgánica nobiodegradable (fenoles, pesticidas y organoclorados), el pH del agua, metales pesados (cadmio, mercurio, cinc y otros), conductividad eléctrica (derivada de la presencia de iones Na, Ca, Mg, Cl, ó B), cloro residual: (concentraciones de radicales de cloro libre mayores que 0,5 mg/l limitan la aplicación a cultivos sensibles).

10

Para ello es necesario un tratamiento terciario que garantice los aspectos higiénico-sanitarios de calidad adecuada para su reutilización según el uso requerido. Con respecto a la presencia de Coliformes totales, Coliformes fecales, Estreptococos fecales y otros microorganismos, las tecnologías actuales no son lo suficientemente eficaces, por lo que en muchos casos se acude a la cloración, tratamiento que en presencia de compuestos orgánicos da lugar a la formación de trihalometanos u organohalogenados, de carácter cancerígeno, por lo que los cauces receptores no han de llevar vertidos superiores a 0,1 mg/l.

15

El destino del agua reutilizada, riego de hortalizas de consumo crudo, etc..., impone una alta exigencia de calidad sanitaria, lo que hace preciso la incorporación de un tratamiento de desinfección o terciario, al agua procedente de la depuradora municipal. El Ozono que se utiliza como desinfectante en general, por la facilidad con que desprende oxígeno, es un producto químico oxidante, al tratarse de un componente que se disocia en radicales libres reactivos. Oxida a los nitritos, sulfuros, sulfitos,...., pasándolos a nitratos y sulfatos, y deja el yodo libre en las disoluciones de yoduros. Fomenta cuando se combinan algunos subproductos de ozonización con procesos secundarios de desinfección la formación de Trihalometanos (THM), con un carácter marcado tóxico, mutagénico o cancerígeno.

25

Las aguas residuales, una vez que han recibido tratamiento secundario en la EDAR, son almacenadas en un depósito de captación cubierto, en el que se dispone de un centro de elevación y una estación de filtrado. Las aguas filtradas reciben un tratamiento terciario de desinfección mediante ozono, con el fin de eliminar los microorganismos presentes en el agua y hacerla apta para su uso en riego.

30

Un proceso de filtración y posterior tratamiento terciario de desinfección con irradiación en una arqueta de paso (figura 4), mediante dispositivo con generador láser VIS y/o IR en vez de ozono, resultaría:

35

- más eficaz.

- menos costoso.

- no entrañaría riesgo alguno para la salud humana.

40

*Tratamiento de la sangre.* La sangre comprende glóbulos rojos y blancos, y una parte líquida sin células, el plasma. La sangre representa 1/13 del peso total del cuerpo humano (5 litros en una persona de 65 kg. de peso) y circula por las arterias y las venas. Es de color rojo vivo en las arterias y oscuro en las venas.

45

Está constituida por tres grupos celulares: hematíes o glóbulos rojos, leucocitos o glóbulos blancos y plaquetas o trombocitos. Las plaquetas y los glóbulos rojos están exentos de núcleo y tienen tamaños, formas y funciones más o menos estándar. Los glóbulos blancos, sin embargo, tienen variadas formas, colores y sus funciones también difieren bastante de una clase a otra. Son las únicas células sanguíneas que pueden cumplir funciones fuera del torrente circulatorio.

50

Los glóbulos rojos o hematíes son células de 7-8  $\mu\text{m}$  de diámetro mayor, en su interior llevan una sustancia llamada hemoglobina que le confiere el color a la sangre, especializados en el transporte de oxígeno ( $\text{O}_2$ ) y dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) entre los tejidos y la circulación pulmonar. En cada milímetro cúbico de sangre existen de 4,5 a 5,5 millones de ellos, que constituyen el 45% del volumen sanguíneo.

55

Los glóbulos blancos o leucocitos son células de 6-18  $\mu\text{m}$  de diámetro con funciones inmunitarias que se encuentran en la sangre, según su tipo, su número oscila entre los 5.000 y los 9.000 por milímetro cúbico.

60

Las plaquetas o trombocitos, son células encargadas de la primera fase de la coagulación, por lo que sus funciones están limitadas al torrente sanguíneo. Son fragmentos de citoplasma celular de 3  $\mu\text{m}$  de diámetro.

65

Los virus, son entidades orgánicas compuestas tan sólo de material genético, rodeado por una envuelta protectora, son causa de muchas enfermedades distintas en los seres humanos, animales, y plantas. Los virus más pequeños miden entre 18 y 20 nanómetros de ancho, los de mayor tamaño son los alargados; algunos miden varios micrómetros de longitud, pero no suelen medir más de 100 nanómetros de ancho (0,1  $\mu\text{m}$ ).

Si en un recipiente de acero inoxidable u otro material metálico reflectante, colocamos como elemento divisorio una membrana semipermeable con poros de 1-2  $\mu\text{m}$  y realizamos Osmosis Inversa, el agua junto con los organismos contaminantes pasa al otro lado a través de la membrana, quedando separada del resto de los componentes. Concentrando

## ES 2 331 034 B1

sobre esa zona y en relación con los microorganismos a eliminar, una pequeña cantidad de energía electromagnética de longitud de onda entre  $0,38$  y  $1.000 \mu\text{m}$  (VIS-IR), mediante una lente divergente adaptada al cabezal terminal de un generador láser (figura 5), aprovechando las propiedades de la radiación y su transformación en energía térmica en su interacción con la materia viva, y al ser el aire y el agua medios de transmisión, permite depurar y desinfectar dicho medio, destruyendo los microorganismos en segundos, utilizando una potencia de emisión muy baja.

*Tratamiento de zumos, cerveza, leche, huevos líquidos, etc...* Se irradia con una lente divergente adaptada al cabezal terminal de un generador láser y en pequeñas intensidades, en función de la cantidad de microorganismos a depurar, a fin de no perturbar los nutrientes, ya que se trata de scattering o difusión múltiple de luz láser y, por lo tanto, calienta más y destruye más bacterias que en el agua, pero si transmite calor en exceso modifica las propiedades nutrientes. Evidentemente es un método rápido y efectivo, pero deberá iniciarse con intensidades bajas, en relación con la masa bacteriológica a eliminar.

Debido al *spreating* espacial y al *spreating* angular disminuye la transmisión total y, por lo consiguiente absorbe y calienta depurando las bacterias, pero sin excederse en la potencia para no destruir las vitaminas.

Transmisión a lo largo de la muestra. El cambio en la intensidad de propagación a una distancia  $dx$  es proporcional a la intensidad y una constante. Esta constante es dada por el coeficiente de extinción:

$$\beta_{\text{ext}} = \beta_{\text{absorción}} + \beta_{\text{difusión}}$$
$$I_x = I_0 \cdot e^{-\beta \cdot x} = I_0 \cdot e^{-\beta_{\text{extinción}} \cdot \text{espesor}} \quad \text{LEY DE BEER}$$

$I$  = Intensidad láser T

La transmisión es el cociente de la intensidad transmitida con la incidente.  $e^{-\beta_{\text{extinción}} \cdot \text{espesor}} = \frac{I_x}{I_0}$

Esto, en el caso que el medio sea homogéneo al propagarse el haz de láser a su través.

En el caso de que las propiedades de difusión de la muestra varíen a lo largo de la trayectoria, la transmisión es:  $T = e^{-\beta_{\text{extinción}} \cdot ds}$ .

Al aumentar la densidad y por tanto la concentración de partículas, aumenta el coeficiente de absorción y por consiguiente el poder de depuración comparado con el  $\text{H}_2\text{O}$ .

Para cualquier tipo de radiación láser, sabiendo el espesor, la intensidad incidente del láser y midiendo la intensidad transmitida, se calcula el coeficiente  $\beta_{\text{extinción}}$  y el poder de depuración.

Medición de la intensidad transmitida.

Sabiendo la intensidad del láser incidente, que atraviesa las muestras de espesor  $30 \text{ cm}$ . en el caso de leche y zumos y  $5 \text{ mm}$  para huevo líquido; con un foto-tubo se mide la intensidad transmitida.

Conociendo la intensidad transmitida, la intensidad incidente y el espesor, calculamos el coeficiente  $\beta_{\text{extinción}}$  y el poder depurador de la intensidad del láser incidente.

Sabemos, por la curva para el agua:

$$\beta_{\text{extinción}} \approx \beta_{\text{absorción}}$$
$$\beta_{\text{extinción}} = (\beta_{\text{absorción para el agua}} + \text{densidad de la muestra} - 1) \cdot \beta_{\text{absorción para el agua}}$$

Midiendo la densidad, podemos saber aproximadamente el  $\beta_{\text{extinción}}$  respecto del  $\beta_{\text{absorción}}$  del agua.

El  $\beta_{\text{absorción}}$  del agua se toma de la curva de transmisión para el láser a emplear.

Si la leche tiene una densidad de  $1,1 \text{ gr./cm}^3 (\text{Kg/l})$ , se tiene:

$$\beta_{\text{extinción}} \approx \beta_{\text{absorción para el agua}} + (1,1 - 1) \cdot \beta_{\text{absorción del agua}}$$

Tomando como densidad del agua ( $1 \text{ Kg/l}$ ), para un láser de longitud de onda  $\lambda = 1,06 \mu\text{m}$ ., en la curva de transmisión obtenemos un coeficiente de absorción  $\alpha = 0,8 \text{ cm}^{-1}$ .

$$\beta_{\text{extinción}} = 0,8 + (1,1 - 1) \cdot 0,8 = 0,8 + 0,1 \times 0,8 = 0,88 \approx 0,9$$

Cálculo de la potencia necesaria por aplicación de la Ley de Beer.

## ES 2 331 034 B1

Si el espesor para leche o zumos es  $x=5$  cm, para una determinada potencia, se puede calcular la intensidad transmitida mediante la ecuación de Beer:

$$I = I_0 \cdot e^{-\beta \cdot \text{extinción} \cdot \text{espesor}}$$

5

a).- Para una Potencia de 100 vatios

$$I = 100 \frac{\text{vatios}}{\text{cm}^2} \cdot e^{-0,9 \times 5} \quad e = 2,7183$$

10

$$L I = \lg 100 - 4,5 \lg 2,7183 = 2 - 4,5 \times 0,435 = 2 - 1,96 = 0,04$$

$$I = \text{antlg } 0,04 = \underline{1,10 \text{ vatios/cm}^2}$$

15

b).- Para una Potencia de 20 vatios

$$I = 20 \frac{\text{vatios}}{\text{cm}^2} \cdot e^{-0,9 \times 5} \quad e = 2,7183$$

20

$$L I = L 20 - 4,5 \cdot L e = 3 - 4,5 \times L 2,7183 = 3 - 4,5 \times 1 = -1,5$$

25

$$I = \text{antL} (-1,5) = \underline{0,22 \text{ vatios/cm}^2}$$

*Efecto de pasteurización de la cerveza por irradiación infrarroja.* Generalmente la cerveza se elabora con levadura, malta de cebada, lúpulo y agua. La elaboración se inicia desde los molinos de malta, que vierten a un tanque de infusión, donde se macera a 65 grados de temperatura. Luego se separa la malta del líquido y se pasa a un tanque de cocción, donde permanece durante hora y media. Una vez que sale del tanque, se le baja la temperatura rápidamente hasta los 10 grados, para evitar la aparición de contaminación. Se deposita en recipientes de acero y fermenta 2 veces, una primera tanda de 1 semana y otra de 40 días, se filtra y embotella.

30

Todos los métodos existentes de pasteurización y de filtración estéril pueden tener un impacto negativo en la cerveza. El láser de radiación infrarroja puede ser usado en nuevos métodos no destructivos de pasteurización de la cerveza porque no causa ionización molecular y no es perjudicial para la calidad de la cerveza. La exposición a corto plazo de la cerveza a la radiación infrarroja láser suprime elevadamente la propagación de la levadura y elimina las bacterias. La alta capacidad de penetración de la radiación infrarroja permite el tratamiento de la cerveza embotellada. La "pasteurización infrarroja láser" no tiene desventajas en cuanto a la calidad del producto y debido a su consumo muy bajo de energía, su bajo precio y la gran disponibilidad de láseres infrarrojos, resulta más barata que cualquiera de los otros métodos usados actualmente por las industrias cerveceras.

35

40

*Tratamiento de piensos y harinas.* La elaboración de piensos compuestos en el mundo es superior a los 600 millones de toneladas, de las que a España corresponden unos 14 millones.

45

Entre las principales materias primas que intervienen en el proceso y que se almacenan en silos o depósitos, para su posterior molienda y tratamiento, cabe mencionar, la soja, el maíz y el trigo, materias primas contaminadas que afectan a la contaminación de los piensos terminados.

50

Los microorganismos que más afectan son las bacterias, los coliformes, la presencia de hongos en el maíz y algunas contaminaciones por salmonella en la soja.

55

En el Reino Unido utilizando tratamientos por calor lograron reducir la contaminación por salmonella en alimentos para aves del 30% al 6% en 3 años. La gran importancia económica de fabricación de piensos en nuestro país permite la incorporación de nuevas tecnologías a su proceso de elaboración, por lo que el tratamiento mediante emisión estimulada de radiación VIS o/y IR dentro de la longitud de onda germicida  $\lambda$  entre 0,38 y 1000  $\mu\text{m}$ . produciría un efecto calorífico provocando la eliminación de los microorganismos contaminantes.

60

*Tratamiento de aguas en Piscinas.* Todas las piscinas, precisan de una desinfección para reducir el total de microorganismos en el agua. Tradicionalmente han sido usados los desinfectantes basados en el cloro, que originan problemas debido a la formación de subproductos clorados, como las cloraminas. La formación de cloraminas es debido a la reacción del cloro con amoníaco (o urea), que son vertidos por los bañistas. Estas cloraminas causan "ojos rojos", irritación de piel, olor característico y pueden ser cancerígenos.

65

Mediante la utilización de un sistema de desinfección por radiación VIS o/y IR, la concentración de cloraminas se reduce considerablemente, al descender en gran medida la dosificación de cloro.

## ES 2 331 034 B1

Para la aplicación del sistema de Láser IR en la esterilización (desinfección) de piscinas, se tendrá que considerar si se trata de una piscina ya existente, o por el contrario, de nueva construcción. En el esquema la recirculación se divide en dos partes:

5 En la primera parte incorporamos una recirculación, que también puede ser con bomba independiente, en el que una parte del agua, en el tiempo aleatorio debe pasar toda el agua de la piscina, por la arqueta de tratamiento Láser.

La segunda es un sistema tradicional de filtro de arenas, para mantener una escasa turbiedad en el agua mejorar así el rendimiento del Láser.

10

En una tercera etapa se produce la dosificación de cloro o tratamiento químico alternativo y termostatación si la hubiere, reincorporando el agua a la pileta de baño. Solo con esta actuación se reduce la cantidad de don necesario en un cincuenta por ciento. No obstante todo esto, siguiendo una serie de conductas en la limpieza reduciremos mucho más esta cantidad. De una parte en el proceso de limpieza del filtro, bajaremos el nivel del agua hasta la línea discontinua B (figura 6) recurriendo luego a una hipercloración invirtiendo la recirculación desde la salida habitual hasta la canaleta que previamente hemos vaciado, tratando de esta manera las tuberías de conducción para evitar el desarrollo de colonias en codos etc.; en este momento reponemos el nivel del agua, y aunque hemos hecho hipercloración, este volumen es muy pequeño en comparación con la capacidad total de la cubeta de baño por lo que podremos ajustar la cantidad de cloro solo al mantenimiento de la misma, llegándose a valores del veinte por ciento o menos.

20

Empleando los medios de limpieza de fondos, paredes y esquinas desviaremos el agua del limpiafondos después de filtrada hacia la unidad de láser.

La figura 6 muestra un ejemplo de instalación de radiación VI o/y IR en una piscina.

25

*Tratamiento de Aire Acondicionado y Quirófanos.* La radiación láser de emisión en onda pulsada y continua entre los límites de 0,38 a 1000  $\mu\text{m}$ , elimina los microorganismos, por lo que este sistema se puede utilizar para tratar el agua y purificar el aire en instalaciones de aire acondicionado, quirófanos, y limpieza y desinfectado de torres de refrigeración. Las figuras 7, 8 y 9, muestran un ejemplo de purificación en conductos de aire acondicionado, aire en quirófanos y agua de torres de refrigeración.

30

*Tratamiento y limpieza de revestimientos exteriores.* Este procedimiento es de aplicación general, pues sin dañar la superficie realiza una limpieza integral, pudiéndose utilizar sobre policromías y superficies frágiles.

35

El procedimiento es menos agresivo y más rápido para la piedra y otros materiales, requiriendo un menor esfuerzo para el operario, que como única protección necesita utilizar solamente unas gafas protectoras.

40

El láser funciona por la amplificación de la energía, en este caso un intenso haz, que produce un flujo de luz coherente de longitud de onda específica. Este tipo de láser emite luz infrarroja y también visible, la mayor parte de esta energía se convierte de inmediato en calor superficial (efecto principal del láser) que calienta la capa de suciedad, provocando su vaporización.

45

Al mismo tiempo el resto de luz pasa sobre el material originando una ligera expansión térmica y una contracción de la superficie que provoca una onda de choque y un efecto sonoro. La explosión de la capa de suciedad vaporizada contribuye al efecto de choque y colabora a eliminarla. La densidad de este tratamiento, transforma en unos segundos la capa negra de suciedad en una superficie limpia, sin que ésta pierda sus propiedades originales.

### Descripción de las figuras

50

La figura 1 corresponde al dispositivo, consistente en una lente divergente (L) de seleniuro de zinc (ZnSe), arseniuro de galio (GaAs), fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), germanio (Ge), cuarzo ( $\text{SiO}_2$ ) u otro material similar, de apertura variable a tenor de la superficie a tratar. La lente divergente (L) de forma poligonal, cilíndrica o esférica se utiliza para ampliar el campo de cobertura, distribuye el rayo láser (R) irradiando energía calorífica en espacios cerrados y abiertos a tenor de la masa contaminante a eliminar.

55

La figura 2 muestra el dispositivo, para tratamientos en arquetas, depósitos o similares, se trata de un elemento metálico (S) reflectante de forma semiesférica, cónica o poligonal, ubicado en el fondo de la cavidad, que se encuentra totalmente revestida de una lámina metálica (Lm) igualmente reflectante de Aluminio, Cobre, Acero inoxidable u otro material análogo. Las abreviaturas representan:

60

R: Radiación láser

S: Semiesfera

65

Lm: Lámina metálica reflectante

R<sub>f</sub>: Radiación reflectada

## ES 2 331 034 B1

La figura 3 es copia del diagrama de la página 266 del **VOLUME 1 “Sources of Radiation”**. En abscisas se indican las Longitudes de Onda en  $\mu\text{m}$ , mediante las que obtenemos en ordenadas el Coeficiente de Absorción en  $\text{cm}^{-1}$  para cada tipo de radiación.

5 La figura 4 se refiere a la desinfección del agua a su paso por una arqueta, mediante irradiación láser. Las abreviaturas representan:

A: Agua

10 L: Lente divergente

E: Entrada agua

Sa: Salida agua

15

Lm: Lámina metálica de Aluminio anodizado o similar

C: Caperuza metálica del mismo material

20

R: Radiación láser

La figura 5, representa el proceso de desinfección de sangre realizando osmosis inversa previamente a la desinfección. Las abreviaturas empleadas son las siguientes:

25 L: Lente divergente (Dispositivo láser)

P: Presión

Ms: Membrana semipermeable con poros de  $1-2 \mu\text{m}$

30

La figura 6 corresponde al sistema de desinfección de agua en piscinas. Las abreviaturas utilizadas representan:

1. Esterilización por irradiación láser.

35

2. Filtrado y Bombeo.

3. Calefactado y pequeña cloración.

40

A. Rebosadero

B. Nivel del agua en el proceso de limpieza del filtro.

La figura 7 trata de una sección transversal y otra longitudinal de un conducto de aire acondicionado, donde las líneas rojas, representan el efecto de reflexión del haz láser en el interior del conducto metálico. Las abreviaturas empleadas son las siguientes.

45

4. Generador láser.

L. Lente divergente

50

La figura 8 corresponde a la purificación del aire en quirófanos y otros recintos mediante un generador láser de pequeñas dimensiones y reducida potencia. La abreviatura utilizada R, representa la Radiación emitida.

55

La figura novena corresponde a la desinfección del agua en torres de refrigeración mediante un generador láser de similares características al anterior. La abreviatura utilizada R, representa la Radiación emitida.

60

65

## REIVINDICACIONES

5 1. Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser, de especial aplicación  
en el tratamiento y desinfección de la sangre, líquidos para consumo humano y otros usos, piensos y harinas, aguas  
de piscinas y riego, aire acondicionado, quirófanos y otros recintos, limpieza de revestimientos exteriores y pasteriza-  
ción de cerveza, por aplicación de radiación visible y/o infrarroja en espacios cerrados y abiertos, para eliminar por  
calentamiento la materia contaminante, que absorbe la radiación transmitida por el aire y el medio a tratar y que se  
constituyen mediante generadores láser y lentes divergentes, esencialmente **caracterizado** porque el generador láser  
10 que emite radiación pulsada o continua, dentro del espectro de longitud de onda  $\lambda$  entre 0,38 y 1000  $\mu\text{m}$ , presenta  
adaptada a su cabezal terminal una lente divergente (L) de apertura variable y su radiación (R) es susceptible de inci-  
dir sobre un elemento metálico (S) reflectante de forma semiesférica, cónica o poligonal ubicado en el fondo de una  
cavidad, produciendo un efecto multiplicador de la radiación.

15 2. Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser, según la primera  
reivindicación, **caracterizado** porque la lente divergente (L) de apertura variable a tenor de la superficie a tratar, está  
constituida por seleniuro de zinc ( $\text{ZnSe}$ ), o arseniuro de galio ( $\text{GaAs}$ ), o fluorita ( $\text{CaF}_2$ ), o germanio (Ge), o cuarzo  
( $\text{SiO}_2$ ), u otro material similar.

20 3. Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser, según la primera y  
segunda reivindicaciones, en su aplicación para tratamiento microbiológico de líquidos contenidos en el interior de  
una cavidad, **caracterizado** porque la cavidad está revestida interiormente de una lámina metálica (Lm) reflectante de  
la radiación (R), de aluminio, cobre, acero inoxidable u otro material similar, que dispone en el fondo de un elemento  
(S) reflectante de forma semiesférica, cónica o poligonal.

25

30

35

40

45

50

55

60

65

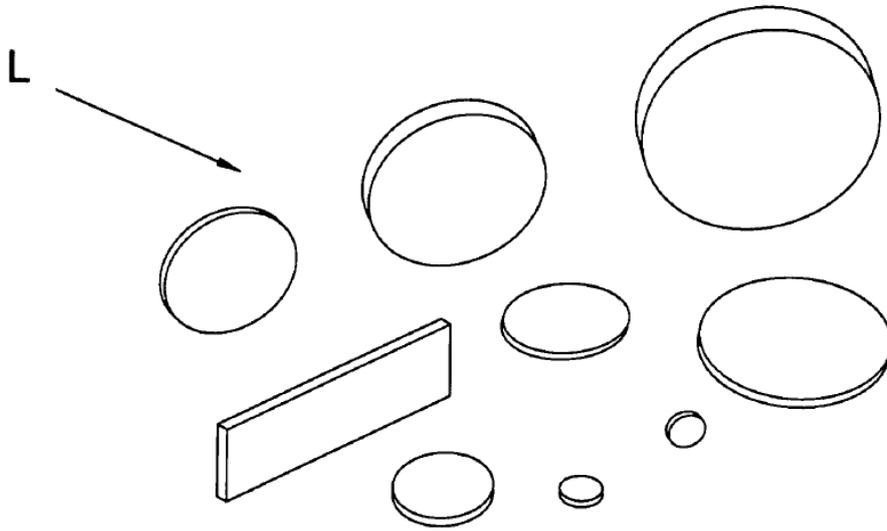


FIG. 1

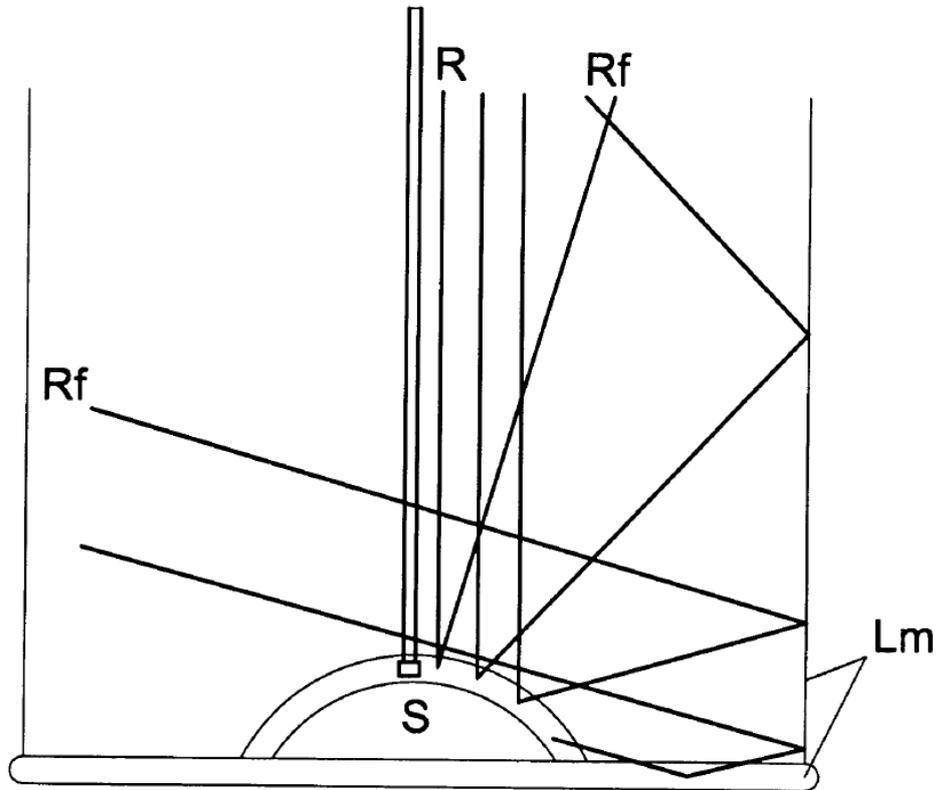
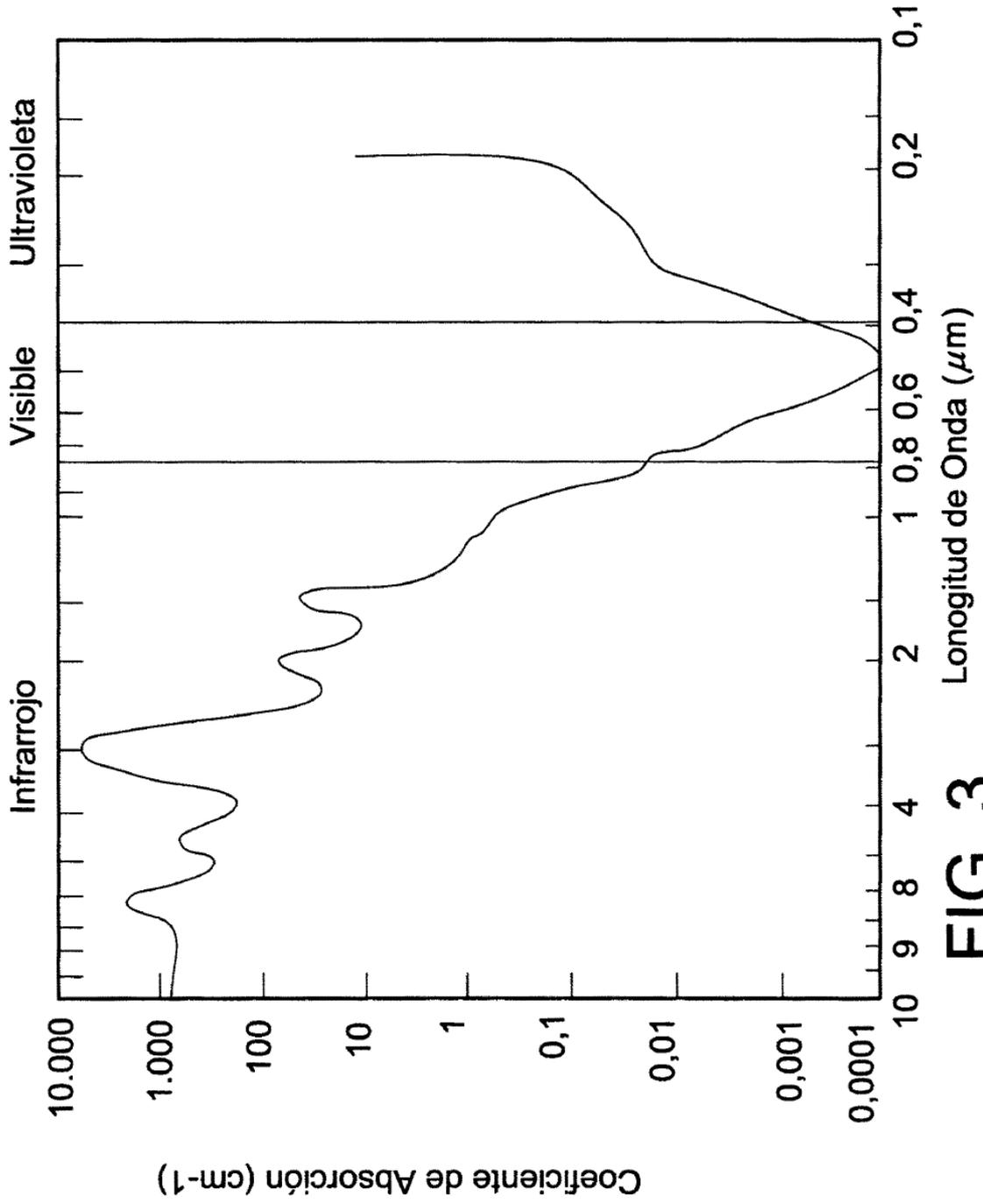


FIG. 2



**FIG. 3**

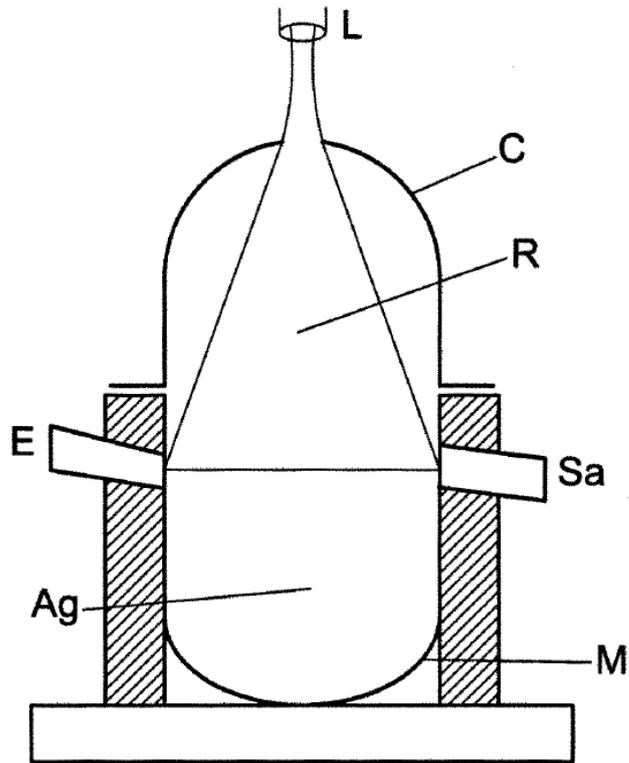


FIG. 4

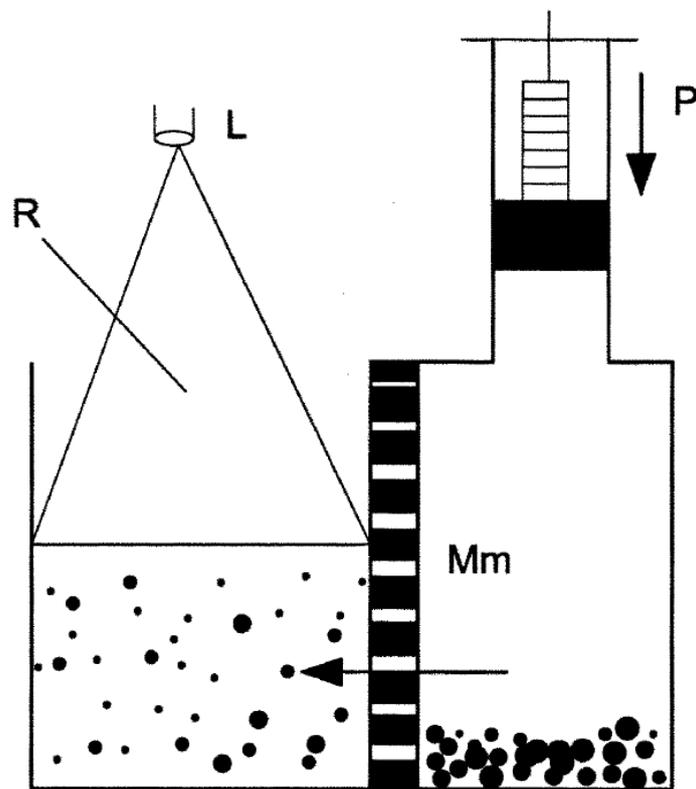


FIG. 5

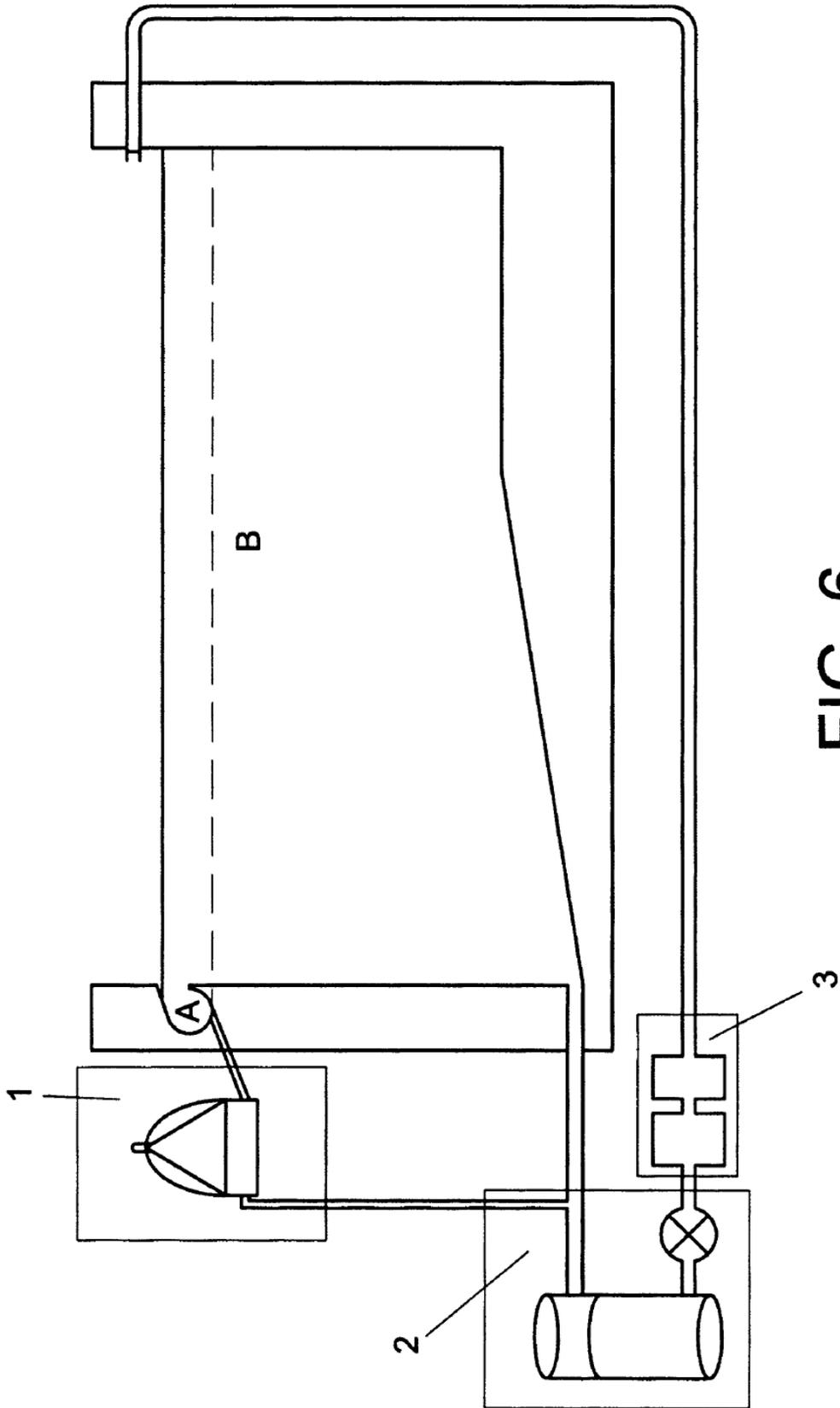


FIG. 6

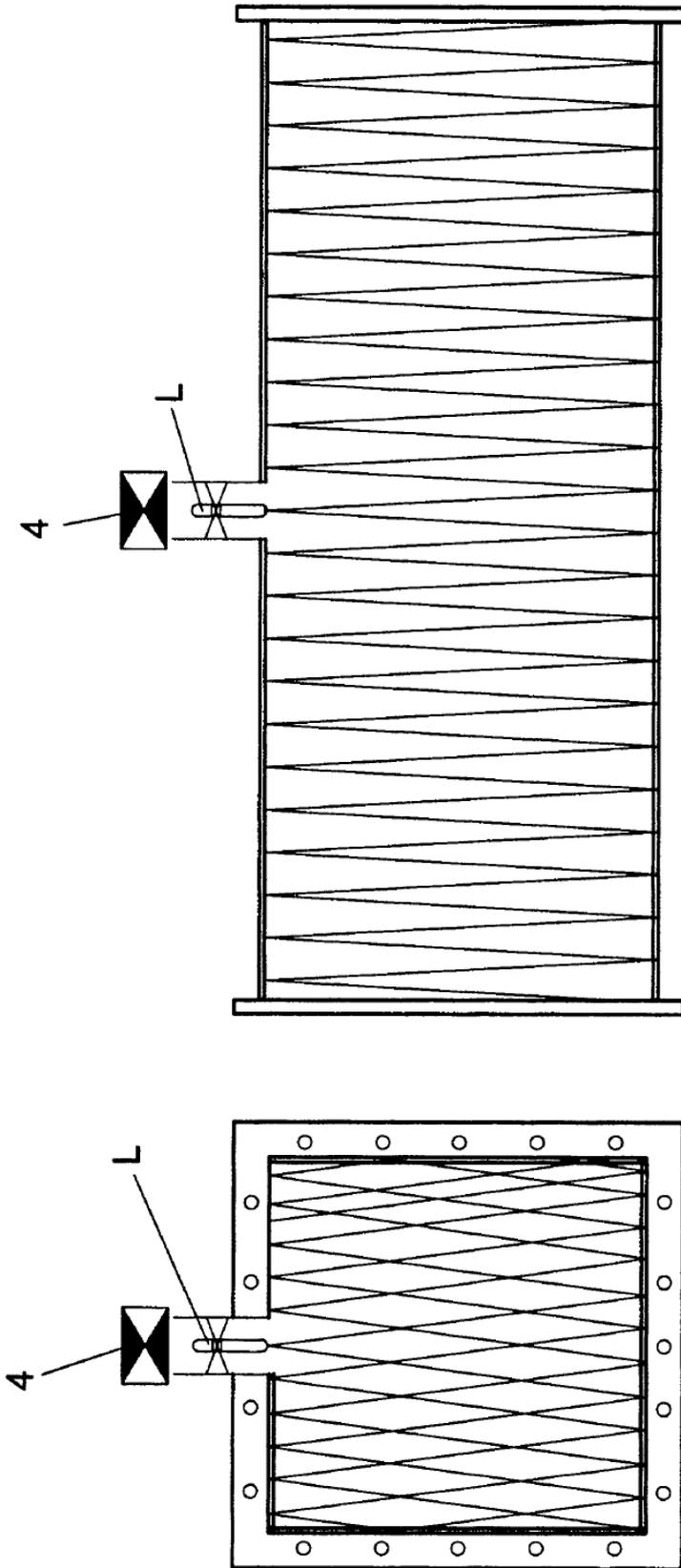


FIG. 7

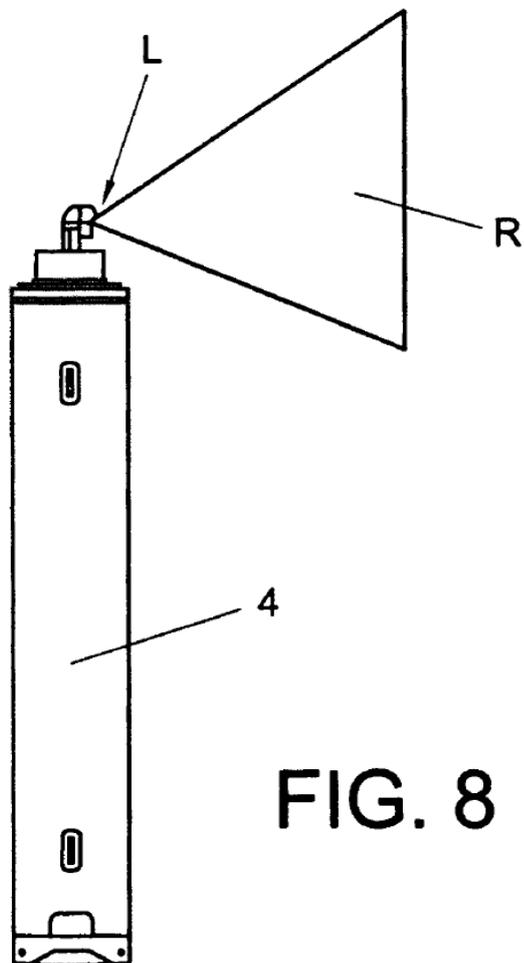


FIG. 8

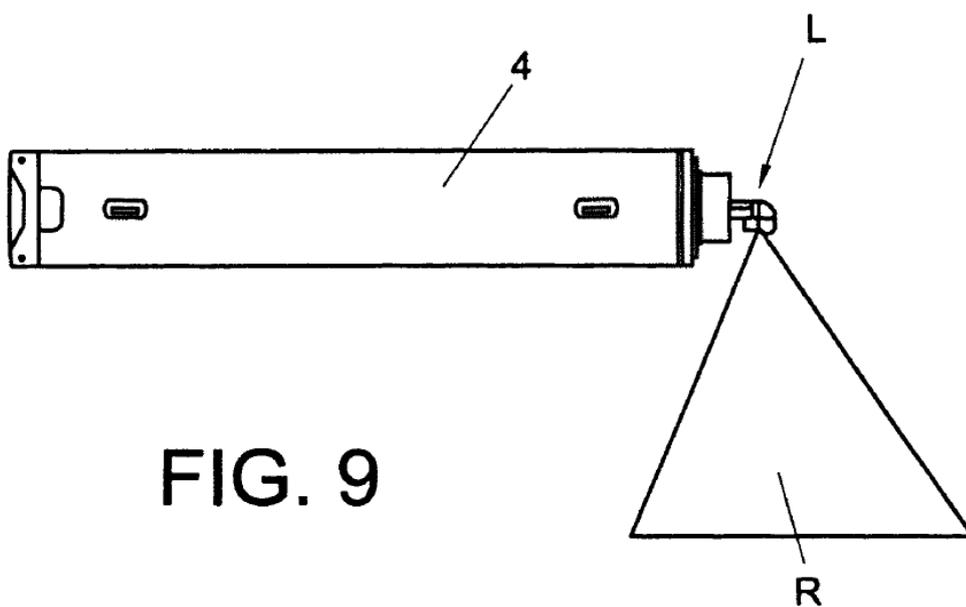


FIG. 9

## CARACTERISTICAS DE LA RADIACION LASER

El haz láser que expanden y distribuyen las ópticas de apertura angular en función de la superficie a irradiar, es transmitido por el agua o el medio a tratar, no así por la materia contaminante, que dadas sus pequeñas dimensiones, es destruida por calentamiento al absorber la energía transmitida. Aprovechando las propiedades de la radiación láser en su interacción con la materia viva, al ser el aire y los líquidos medios de transmisión de la energía, permite depurar y desinfectar dichos medios.

Al no requerir productos químicos, no se forman sustancias tóxicas, no afectando al contenido mineral del agua, no produciendo corrosión, y no provocando por consiguiente efecto medio-ambiental alguno, conservando el agua su sabor natural.

**La desinfección por Radiación Láser** es un proceso físico definido por la transferencia de energía electromagnética de una fuente generadora (láser) al material genético celular de un organismo contenido en un líquido o aire. Los efectos de esta energía son los de incapacitar la célula a reproducirse y eliminarla por calentamiento. Produce reacciones fotofísicas activando los **procesos dinámicos** en la molécula y la activación electrónica en los átomos, originando un calentamiento en distintos niveles y cambiando a **energía calorífica**.

La efectividad de la radiación es una relación directa de la cantidad de **energía calorífica** que es absorbida por los microorganismos. Esta dosis es el producto de la intensidad y el tiempo de exposición a la intensidad. La radiación láser es absorbida por las moléculas, produciendo una reacción fotofísica y originando un calentamiento. **La energía de la radiación, produce ionización y disociación molecular, provocando la destrucción de las moléculas.**

La cantidad de energía transportada por un rayo de luz es factor de su frecuencia y longitud de onda. Cuando un rayo de luz con suficientes niveles de energía es absorbido por un material, ocasiona en el mismo cambios químicos o físicos. Sin embargo, los átomos y moléculas absorberán solo esa longitud de onda que proporciona la cantidad de energía para cambiar de estado. En el caso de microorganismos, la radiación láser con longitud de onda ( $0,38 \leq \lambda \leq 10,6 \mu\text{m}$ ) será absorbida a un nivel que será suficiente para causar un cambio físico de electrones y disociación molecular.

**La radiación láser** reduce la oxidabilidad del medio a tratar, y se trata de un procedimiento físico **caracterizado por sus efectos caloríficos** que no reacciona químicamente, purificando el medio **sin causar efecto nocivo alguno para la salud humana**, al irradiarse en potencias de emisión muy bajas.

## Radiaciones ionizante y no ionizantes.

El Sol, como fuente de energía, es responsable directo de la vida sobre la Tierra en todas sus formas. La transmisión de la energía desde el Sol, donde se produce continuamente por fusión nuclear, hasta la Tierra **se realiza mediante fotones o radiación**. La atmósfera amortigua la radiación ultravioleta que correspondiendo a la banda más energética del entorno del espectro visible produciría quemaduras si actuara con mayor intensidad. Este es un primer ejemplo del equilibrio requerido para el desarrollo de la vida. Si bien necesitamos la radiación del Sol su exceso nos desintegraría. La dosis crítica de radiación ultravioleta la fija la capa de ozono atmosférica cuyo estado con tanta razón preocupa a una sociedad cada vez más consciente de este equilibrio frágil sobre el que descansa la posibilidad de vivir.

Al encontrarse las moléculas que forman el organismo enlazadas por fuerzas electromagnéticas son susceptibles de romperse por fuerzas externas de la misma magnitud.

- **Los fotones de alta energía, comprendida en el rango de órdenes de magnitud de 0,1 a 1 eV, son capaces de romper las moléculas ya que la energía del enlace químico está comprendida en el mismo intervalo.**

**Nota.** 1 electrón-voltio, **eV**, es la energía que adquiere un electrón en un potencial de 1 voltio. La energía cinética con que se mueve una molécula de nitrógeno que forma parte del aire de nuestra habitación a 20 grados centígrados de temperatura es 0,026 eV.

- **Los fotones con energía inferior a 0,1 eV no son capaces de romper los enlaces químicos** y se denominan **no ionizantes**, ya que de la ruptura de los enlaces se deriva la formación de iones que son los átomos inicialmente enlazados tras separarse violentamente.

**LEY DE PLANCK.** La energía **E** de cada cuanto es igual a la frecuencia **f** de la radiación por la constante de proporcionalidad **h** de Planck

La energía **E** de un cuanto viene dada por:

$$E = h.f$$

**h** = constante de Planck =  **$6,63 \times 10^{-34}$  J.s**

$$1 \text{ eV} = 1,6 \times 10^{-19} \text{ J} \Rightarrow 1 \text{ J} = 6,25 \times 10^{18} \text{ eV}$$

$$h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ Js} * \frac{6,25 \times 10^{18} \text{ eV}}{1 \text{ J}} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s}$$

$$E = h.f \quad E = 0,1 \text{ eV} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV.s} . f \Rightarrow f \geq 0,1 / 4,14 \times 10^{-15} = 2,4 \times 10^{13} \text{ seg}^{-1} \text{ (Hz)}$$

Si uno considera que la constante de Planck es  **$h = 6,63 \times 10^{-34}$  Julio.segundo** ó  **$4,14 \times 10^{-15}$  eV.segundo**, todos los fotones con frecuencias  **$f < 2,4 \times 10^{13} \text{ seg}^{-1}$**  ó  **$2,4 \times 10^{13}$  Hz** (Hz significa herzio o 1 dividido por segundo; el número de herzios es el número de veces que en un segundo se invierte el sentido del campo eléctrico del fotón) tienen energías inferiores a **0,1 eV** y pueden considerarse como radiaciones no ionizantes o no rompedoras de moléculas.

Por esta razón las denominadas radiaciones no ionizantes abarcan el espectro de frecuencias que se extiende entre los campos estáticos -o no variables con el tiempo- para los que  $f=0$  y los de frecuencia **300 GHz** ó **300 gigahertzios =  $3 \times 10^{11}$  Hz** (1 GHz = mil millones de herzios ó  $10^9$  Hz).

La radiación gamma o los rayos X al ser ionizantes pueden producir efectos nocivos sobre los tejidos, pero debemos considerar que no basta la incidencia de fotones de alta energía para producir daños, es también preciso que el número de fotones sea suficientemente elevado. La dependencia del daño con el número de fotones o intensidad de la radiación permite hablar de dosis de tolerancia y dosis de seguridad incluso para las radiaciones altamente energéticas o ionizantes.

## EFFECTOS DE LA RADIACION LASER

La desinfección mediante **Emisión estimulada de Radiación** es un proceso físico definido por la transferencia de energía electromagnética de una fuente generadora (láser) al material genético celular de un organismo contenido en un líquido o aire. Los efectos de esta energía son los de incapacitar la célula a reproducirse y eliminarla por calentamiento.

Las radiaciones consisten en fotones de distinta energía, dependiendo esta última de la frecuencia de los fotones. La formula que relaciona energía y frecuencia es:

$$E = h \cdot f$$

La frecuencia  $f$  y la longitud de onda  $\lambda$  se relacionan mediante la expresión:

$$\lambda = v \cdot T = \frac{v}{f} \quad \Rightarrow \quad \text{frecuencia en Hz} \quad f = \frac{v}{\lambda}$$

$E$  = Energía (eV)

$h$  = constante de Planck =  $6,63 \times 10^{-34}$  Julio·segundo ó  $4,14 \times 10^{-15}$  eV·s

$f$  = frecuencia en Hz.

$v$  = velocidad de la luz en el vacío =  $3 \times 10^8$  m/seg =  $3 \times 10^{10}$  cm/s =  $3 \times 10^{14}$   $\mu$ m/s

### Láseres VIS e IR con efecto ionizante

CLASE	LASERES	Longitud de onda $\lambda$	Frecuencia $f$	Energía $E$ (eV)
<b>VIS Visible</b> 0,38-0,78 $\mu$ m	He-Cd	0,38 a 0,44 $\mu$ m	5,7 a $9,1 \times 10^{14}$ Hz	2,4 a 3,8 eV
	Argón	0,38 a 0,52 $\mu$ m	5,7 a $7,8 \times 10^{14}$ Hz	2,4 a 3,2 eV
	He-Ne	0,54 a 0,78 $\mu$ m	3,8 a $5,5 \times 10^{14}$ Hz	1,6 a 2,3 eV
	Rubí	0,69 $\mu$ m	$5,1 \times 10^{14}$ Hz	2,1 eV
<b>IR Infrarrojo</b> 0,78- 1000 $\mu$ m	Alejandrita	0,72 a 0,80 $\mu$ m	3,7 a $4,1 \times 10^{14}$ Hz	1,5 a 1,7 eV
	He-Ne	0,78 a 3,39 $\mu$ m	0,88 a $3,8 \times 10^{14}$ Hz	0,36 a 1,6 eV
	GaAs	0,90 $\mu$ m	$3,3 \times 10^{14}$ Hz	1,4 eV
	Nd:YAG	1,06 $\mu$ m	$2,8 \times 10^{14}$ Hz	1,15 eV
	Ho:YAG	2,1 $\mu$ m	$1,4 \times 10^{14}$ Hz	0,58 eV
	Er:YAG	2,94 $\mu$ m	$1,02 \times 10^{14}$ Hz	0,42 eV
	Excímeros	1,9 a 3,5 $\mu$ m	0,85 a $1,5 \times 10^{14}$ Hz	0,35 eV
	CO2	10,64 $\mu$ m	$2,8 \times 10^{13}$ Hz	0,12 eV
XXX	<b>12,5 <math>\mu</math>m</b>	<b><math>2,4 \times 10^{13}</math> Hz</b>	0,1 eV	

Para Láser de Nd:YAG y  $\lambda=1,06 \mu$ m:

$$f = v/\lambda = 3 \times 10^{10} \text{ cm} \cdot \text{s}^{-1} / 1,06 \times 10^{-4} \text{ cm} = 2,8 \times 10^{14} \text{ s}^{-1} = 2,8 \times 10^{14} \text{ Hz}$$

$$E = h \cdot f = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 2,8 \times 10^{14} \text{ Hz} = 4,14 \times 10^{-15} \text{ eV} \cdot \text{s} \times 0,28 \times 10^{15} \text{ Hz} = 1,15 \text{ eV}$$

Se puede concluir que **todos los fotones u ondas electromagnéticas con frecuencia inferior a  $2,4 \times 10^{13}$  hercios no tienen energía suficiente para romper moléculas y por tanto se consideran no ionizantes. Son por tanto incapaces de generar directamente mutaciones genéticas mediante la ruptura de ADN.** Ello es aplicable a los láseres de longitud de onda superior a 12,5  $\mu$ m.

## REUTILIZACION DE AGUAS

La inquietud actual es la de buscar recursos hídricos alternativos disponibles para usos urbanos, agrícolas o de jardines, industriales, recreativos o ambientales.

La reutilización del agua es un elemento de desarrollo necesario, y la adecuada gestión de los recursos hídricos proporciona nuevas opciones para su utilización en agricultura, uso urbano e industria.

Las posibilidades de reutilización de las aguas residuales tratadas son numerosas y variadas dependiendo del nivel de tratamiento a que se sometan, lo que determinará la calidad del efluente conseguido, destacando como destino mas frecuente, en la mayoría de los proyectos, el riego agrícola, por lo que la necesidad de reutilizar las aguas residuales se va incrementando cada vez más.

La agricultura en áreas áridas y semiáridas depende casi absolutamente del riego, y **la demanda de agua para riego representa un porcentaje que supera en muchos casos el 80% de la demanda total de agua.**

Los elementos presentes en las aguas residuales, que pueden limitar su uso en riego, son los siguientes:

- Sólidos en suspensión
- Escherichia coli
- Nematodos intestinales
- Turbidez.

Para ello es necesario encontrar un tratamiento terciario óptimo que garantice los aspectos higiénico-sanitarios de calidad adecuada para su reutilización según el uso requerido.

A este respecto las tecnologías actualmente existentes no son lo suficientemente eficaces, ya que **en muchos casos se acude a la cloración**, tratamiento que en presencia de compuestos orgánicos da lugar a la formación de trihalometanos u órgano-halogenados, **de carácter cancerígeno**, por lo que los cauces receptores no han de llevar vertidos superiores a 0,1 mg/l (100 µm/l.).

**El destino del agua reutilizada, riego de productos de consumo crudo, etc..**, obliga a una alta exigencia de calidad sanitaria al efluente a obtener, lo que hace necesaria la incorporación de un tratamiento de desinfección o terciario, al agua procedente de la estación depuradora de aguas residuales.

En la elección del ozono como desinfectante a emplear, se han considerado diversas posibilidades con el fin de determinar el agente desinfectante más adecuado desde el punto de vista técnico -sanitario y económico.

El Ozono que se utiliza como desinfectante en general, por la facilidad con que desprende oxígeno, es un producto químico oxidante, al tratarse de un componente que se disocia en radicales libres reactivos. Oxida a los nitritos, sulfuros, sulfitos,..., pasándolos a nitratos y sulfatos, y deja el yodo libre en las disoluciones de yoduros. Fomenta cuando se combinan algunos subproductos de ozonización con procesos secundarios de desinfección la formación de **Trihalometanos** (THM), con un carácter marcado tóxico, mutagénico o cancerígeno.

La depuración de las aguas residuales urbanas, mediante adecuados tratamientos, permite reducir la presencia de agentes microbiológicos patógenos y de sustancias químicas nocivas. Ahora bien esta reducción, que no eliminación, ocasiona una situación de riesgo en caso de nueva utilización del agua, tanto para la población, como para los trabajadores expuestos.

Actualmente, a fin de reducir el número de lámparas, se está utilizando la Radiación Ultravioleta UV emitida por lámparas de mercurio de baja presión y alta potencia, pero su **alto consumo eléctrico en relación con la Radiación Láser y el elevado coste de mantenimiento**, requiere la búsqueda de métodos alternativos más económicos

Las aguas residuales, una vez que han recibido tratamiento secundario en la EDAR, son filtradas y reciben posteriormente un tratamiento terciario de desinfección mediante radiación UV, con el fin de eliminar los microorganismos presentes en el agua y hacerla apta para su reutilización.

En España, el 9 de diciembre de 2007 ha entrado en vigor el RD 1620/2007 (**BOE 8/12/2007**), para la reutilización directa de las aguas en función de los procesos de depuración, su calidad y los usos previstos.

En el **Anexo I.A**, se establecen los criterios de calidad (Valores máximos admisibles), que han de cumplir para su reutilización de acuerdo con los usos previstos.

Un proceso de filtración y posterior tratamiento terciario de **desinfección con Radiación Láser** en vez de Ozono o UV, resultaría:

- Menor consumo energético.
- Escaso mantenimiento.
- Gran duración de los equipos. Muy superior al UV.
- Menos costoso.
- Impacto ambiental nulo.
- No entrañaría riesgo alguno para la salud humana.

## Resultados de las aguas del efluente de la EDAR de Pinedo al ser sometidas a Radiación con Láser de CO<sub>2</sub>, previa filtración.

Tipo de Agua	Demanda Química de Oxígeno mg/l	Sólidos suspendidos mg/l	Coliformes Totales ufc/100 ml	Escherichia Coli ufc/100 ml	Potencia de Radiación W	Tiempo de Exposición segundos
Agua Sin Tratar ARF	30	<5	7,8x10 <sup>5</sup>	1,7x10 <sup>5</sup>	-	-
Agua Tratada ARF T1	27	<5	8000	300	50	4
Agua Tratada ARF T2	22	<5	4000	200	100	4
Agua Tratada ARF T3	21	<5	11000	100	150	3
Agua Tratada ARF T4	21	<5	9000	100	200	3
Agua Tratada ARF T5	23	<5	8000	200	250	2
Agua Tratada ARF T6	25	<5	2000	100	50	3

Los resultados de la reducción de **Coliformes Totales** y **Escherichia Coli** han sido totalmente satisfactorios, aplicando Potencias de Radiación y Tiempos de Exposición mínimos, siendo la muestra **ARF T6** sometida a una Potencia de radiación de **50 vatios** durante un tiempo de **3 segundos**, la que mejor expresa los resultados obtenidos.

Dado que la potencia **P** en vatios de la radiación permanece constante durante el tratamiento, la energía **E** de la luz infrarroja IR, será el valor de la potencia multiplicada por el tiempo que dure la radiación.

$$E = P.t \text{ (w.s)} = 50 \times 3 = 150 \text{ (J)}$$

El parámetro de **Sólidos suspendidos** no es necesario considerarlo, puesto que al haber filtrado previamente las aguas, cumple lo establecido en el RD 1620/2007.

Las muestras procedentes de la **EDAR** presentaban un alto contenido de Coliformes Totales y Escherichia Coli (7,8x10<sup>5</sup> y 1,7x10<sup>5</sup> ufc/100 ml), parámetros que con la Radiación Infrarroja IR fueron sustancialmente rebajados a 2000 y **100 ufc/100 ml** respectivamente.

La reducción de estos parámetros se refleja en la bajada de la Demanda Química de Oxígeno de 30 a 21 mg/l, puesto que el consumo de oxígeno está directamente relacionado con el contenido bacteriológico.

Con la **Optimización del Sistema**, empleando una lente divergente adecuada adaptada al cabezal terminal de un generador láser, y utilizando una arqueta (cámara) de Aluminio anodizado u otro material similar, cilíndrica y de forma semiesférica en la parte superior e inferior, aumentará por reflexión y aislamiento el efecto germinicida de la Radiación Infrarroja.

Si comparamos los resultados obtenidos, con los de Desinfección de Agua residual por Luz Ultravioleta de la **EDAR PINEDO** de Valencia se tiene:

# COMPARATIVO DESINFECCIÓN DE AGUA RESIDUAL DE LA EDAR PINEDO DE VALENCIA, CON LUZ ULTRAVIOLETA Y RADIACION POR LASER IR

## 1.- DESINFECCIÓN DE AGUA RESIDUAL POR LUZ ULTRAVIOLETA UV.

La EDAR está provista de 1500 lámparas UV de 260 W/lámpara, para el Tratamiento de Desinfección de 350.000 m<sup>3</sup> de agua/día para riego y la Albufera.

El consumo de energía eléctrica de cada lámpara es de 260 W/h, resultando por consiguiente:

$$\text{Consumo Total de Energía} = 1500 \times 0,26 \text{ kW/h} \times 24 = \underline{\underline{9.360 \text{ kW/día}}}$$

## 2.- DESINFECCIÓN DE AGUA RESIDUAL POR LUZ INFRARROJA IR.

Dimensiones de la cámara de Aluminio anodizado o similar con capacidad para tratar una lámina de agua residual de 30 (20+10) cm de espesor en 3 segundos.

Diámetro interior = 90 cm = 9 dm

Alto = 115 cm

Altura divergencia rayo = 120 cm

Apertura lente = 45°

Tipo de Láser	Apertura de la lente divergente	Volumen irradiado litros	Salida IR Vatios	Consumo de energía kW/h
CO2	45°	131,5/3s	100	2
Nd:YAG	45°	131,5/3s	100	1

$$V = V_1 \text{ (Casquete esférico)} + V_2 \text{ (Cilindro)}$$

$$V_1 = \frac{1}{3} \pi \cdot h^2 \cdot (3R - h) \quad R = \frac{r^2 + h^2}{2h} = \frac{4,5^2 + 2^2}{2 \cdot 2} = 6,06 \text{ dm}$$

$$V_1 = \frac{1}{3} 3,14 \times 2^2 (3 \times 6,06 - 2) = 67,77 \text{ dm}^3$$

$$V_2 = \pi \cdot r^2 \cdot h = 3,14 \times 4,5^2 \times 1 = 63,61 \text{ dm}^3$$

$$V = V_1 + V_2 = 67,77 + 63,61 = 131,38 \text{ dm}^3/3s$$

$$\text{M}^3 \text{ desinfección/día} = 0,1314 \text{ m}^3/3s = 0,1314 \times 3600 \times 24/3 = \underline{\underline{3.784 \text{ m}^3/\text{día}}}$$

Consumo de energía

- Láser de CO2 = 2x24 = **48 kW/día**
- Láser de Nd:YAG = 1x24 = **24 Kw/día**

## CONCLUSIÓN.

Para desinfectar el mismo volumen de agua de 350.000 m<sup>3</sup>/día, con láser infrarrojo de 100 vatios de potencia **sin considerar el efecto de reflexión**, se necesitaría:

$$\text{Número de láseres} = 350.000/3.784 = \underline{\underline{92}}$$

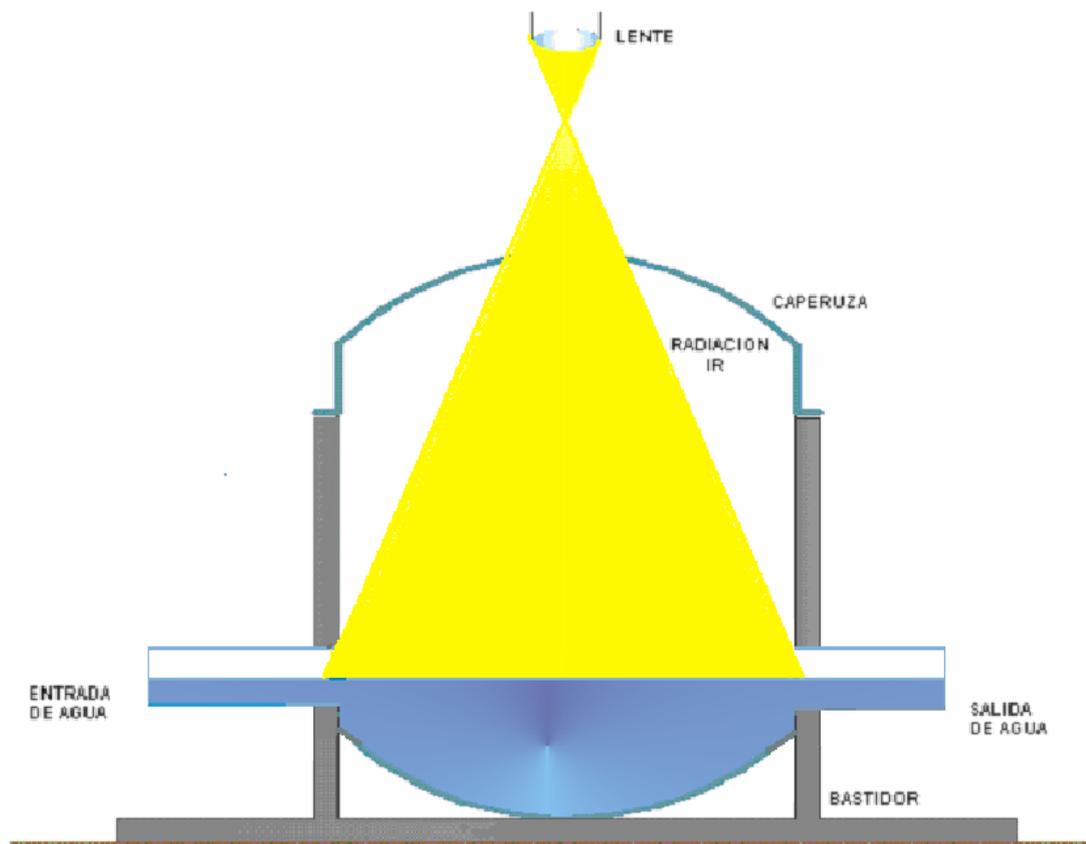
**Consumo de energía**

- Láser de CO2 = 48x92 = **4.416 kW/día**
- Láser de Nd:YAG = 24x92 = **2.208 Kw/día**

El **ahorro energético** con láseres de Nd:YAG, considerando una lámina de agua de 30 cm de espesor, sería de **7.152 kW/día** o **2.610.480 kW/año**.

## IMPORTE ANUAL DEL AHORRO ENERGETICO

$$\text{Total Importe} \dots\dots\dots 2.610.480 \text{ kW} \cdot 0,14 \text{ €/kW} \dots\dots\dots \underline{\underline{365.467 \text{ €}}}$$



El sector eléctrico es uno de los más afectados por la puesta en marcha de los mecanismos establecidos por el Protocolo de Kioto, que en la Unión Europea se ha concretado en la Directiva del Mercado de los Derechos de Emisión Directiva 2003/87/CE.

El Real Decreto 436/2004, de 12 de marzo, tiene como principal objetivo la protección del medio ambiente, y la garantía de un suministro eléctrico de calidad para todos los consumidores a nivel estatal

La aplicación de esta nueva tecnología de Láser, en el Tratamiento de aguas residuales para su reutilización, en sustitución de las lámparas ultravioleta UV, significa un ahorro de energía eléctrica del orden del 50% al 75%, según el modelo de láser utilizado, colaborando con ello al cumplimiento de los objetivos del Protocolo de Kioto y al proyecto de directiva de la Unión Europea, y contribuyendo a la protección del medio ambiente mediante la reducción de emisión de CO<sub>2</sub>.

## **APLICACIÓN A PISCINAS.**

Actualmente se está aplicando en las Piscinas el **sistema UVAZONE**, que combina la generación de ozono y la radiación UV, en una unidad compacta. Se trata del sistema de depuración de agua de piscinas más avanzado que existe.

El UVAZONE combina la generación de ozono y la radiación UV en un único sistema que mejora la producción de radicales hidroxilos, lo que aumenta al máximo la destrucción de materia orgánica, incluyendo las cloraminas. A diferencia de otros métodos de tratamiento, los procesos de oxidación son completos y no existe el riesgo de acumulación de subproductos de la reacción. El proceso UVAZONE también contribuye a mejorar la floculación, lo que supone contar con un agua de claridad superior. El uso de la radiación UV también desozoniza el agua tratada antes de que salga del sistema; de este modo, no se necesita un filtro de carbón activo para la eliminación del ozono. El cloro es eficaz contra la mayoría de las bacterias, pero con virus, nematodos y amebas reacciona lentamente. Con el Proceso Avanzado de Oxidación se garantiza un excelente control de todos los micro-organismos. Cada módulo UVAZONE está formado por:

- Generador de ozono de descarga en corona
- Concentrador de oxígeno
- Cámara de reacción
- Sistema de purga de ozono no disuelto
- Destructor térmico del gas de purga
- Lámpara UV de baja presión y alta potencia
- Reactancias y lámparas UV
- Inyector, bomba aceleradora y caudalímetro de aire
- Caudalímetro de agua
- Indicadores y controles eléctricos

**UVAZONE 1500.** Lo supera un Láser de 50 W que desinfecta > **2500 m<sup>3</sup>/día**

Volumen de la piscina. 1500 m<sup>3</sup>

Caudal de derivación. 62,5 m<sup>3</sup>/h x 24 = 1500

Producción de ozono. 62,5 g/h

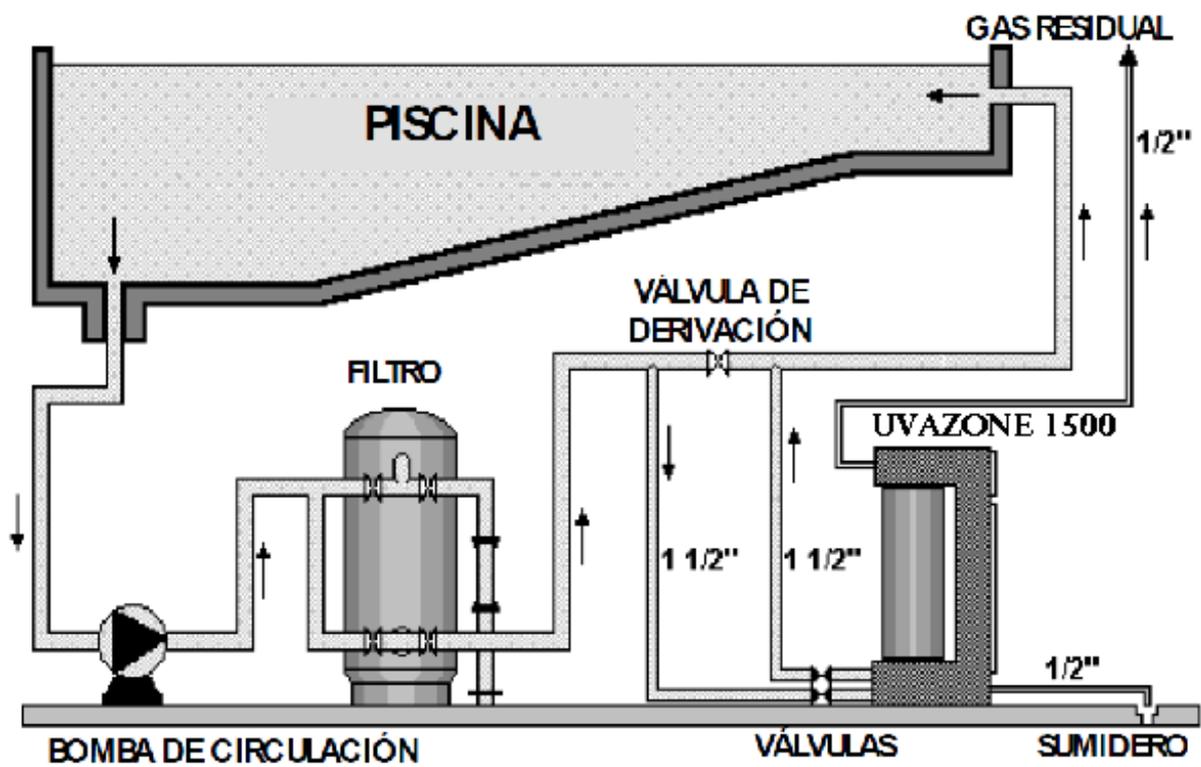
Caudal de gas de alimentación. 25,0 l/m

**Potencia. 8,0 kw**

Alimentación eléctrica. 400v/3ph/50hz

Peso (vacío). 1200 kg.

Peso (lleno). 1950 kg.



El sistema resultaría mucho más económico, sustituyendo la unidad UVAZONE 1500 por un Láser entre 30 y 50 W de potencia, tal y como se puede constatar en el correspondiente comparativo, realizado con un Láser de 50 W.

## COMPARATIVO SISTEMAS UV - LASER

### DEPURACION DE AGUA EN PISCINA DE 1.500 m<sup>3</sup>

#### 1. MEDIANTE SISTEMA UVAZONE 1500

Volumen de la piscina.....	1500 m <sup>3</sup>
<b>Caudal de derivación.....</b>	<b>62,5 m<sup>3</sup>/h</b>
Producción de ozono.....	62,5 g/h
Caudal de gas de alimentación.....	25,0 l/m
Potencia.....	<b>8,0 kW</b>

#### 2. MEDIANTE RADIACION LASER

**CON LASER de CO2 de 50 W.** Peso 20 kilogramos

##### DATOS:

Potencia máxima de salida del Láser.....	<b>50 W</b>
Caudal máximo a desinfectar.....	1.500 m <sup>3</sup> /día
Caudal de derivación.....	62,5 m <sup>3</sup> /h
Lámina media de agua .....	20-50 cm
Tiempo de retención .....	2-6 s
Reposición 1 tubo gas/10.000 h.....	1.200 €
Vida máquina.....	indefinida
Periodo de amortización previsto.....	10 años/láser
Consumo eléctrico.....	<b>0,8-1,2 kW/h</b>

#### 2.1. COSTE EUROS M3 CON UN EQUIPO LASER

Coste Láser CO2.....	14.000
Cabezal y Óptica .....	3.500
Coste instalación.....	2.400
Coste mantenimiento.....10x3.000.....	30.000
Consumo..... 10x365x24x <b>1,2kW</b> x0,14.....	14.717
Reposición tubo gas.....10x365x24x1.200/10.000.....	10.512
<b>COSTE TOTAL.....</b>	<b>75.129</b>

**M3 POTABILIZADOS...10 x365x1.500.....5.475.000**

€/M3=75.129/5.475.000 = 0,014 Euros.

Facturación DELAIR.....0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,017 Euros**

#### 2.2. COSTE EUROS M3 CON DOS EQUIPOS LASER

Coste Equipo 2 Láseres CO2.....	28.000
Cabezales y Ópticas .....	7.000
Coste instalación.....	4.000
Coste mantenimiento.....20x3.000.....	60.000
Consumo..... 20x365x24x <b>1,2kW</b> x0,14.....	29.434
Reposición tubo gas.....20x365x24x1.200/10.000.....	21.024
<b>COSTE TOTAL.....</b>	<b>149.458</b>

**M3 POTABILIZADOS...20 x365x1.500.....10.950.000**

€/M3 = 149.458/10.950.000 = 0,014 Euros.

Facturación DELAIR.....0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,017 Euros**

## **COSTE M<sup>3</sup> DESINFECCION DE AGUAS RESIDUALES** **PARA SU UTILIZACIÓN EN REGADIO**

**CON LASER IR de Nd:YAG de 100 W bombeado con Diodos.** Sin considerar efecto de reflexión

### **DATOS:**

Potencia de salida del Láser IR.....**100 W**  
Caudal máximo a desinfectar.....7.500 m<sup>3</sup>/día

### **DETALLES DEL DEPÓSITO**

Diámetro..... 90 cm  
Lámina media de agua ... 30-60 cm  
Tiempo de retención 3-5 s  
Vida máquina..... indefinida  
Periodo de amortización previsto..... 5 años/láser  
Consumo ..... 1 kW/h

### **COSTE EUROS/M3**

Coste Equipo completo 2 láseres.....140.000  
Ópticas de ZnSe i/soporte.....2x3.500.....7.000  
Coste instalación.....12.000  
Coste mantenimiento.....10x6.000.....60.000  
Consumo.....10x365x24x1kWx0,14.....12.264  
Reposición diodos...10x365x24x3.000/10.000.....26.280  
**COSTE TOTAL..... 257.544**

**M3 POTABILIZADOS...10x365x7.500..... 27.375.000**

EUROS/M3=257.544/27.375.000 = 0,009 Euros

Facturación DELAIR..... 0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,012 Euros**

## COSTE M<sup>3</sup> DESINFECCION DE AGUAS

**CON LASER IR de Nd:YAG de 150 W bombeado con lámpara de flash.** Sin considerar efecto de reflexión

### **DATOS:**

Potencia de salida del Láser IR..... **150 W**  
Caudal máximo a desinfectar..... 8.640 m<sup>3</sup>/día

### **DETALLES DEL DEPÓSITO**

Diámetro..... 90 cm  
Lámina media de agua ... 30-60 cm  
Tiempo de retención 3-5 s  
Reposición 1 lámpara/1.000 H..... 900 €  
Vida máquina..... indefinida  
Periodo de amortización previsto..... 5 años/láser  
Consumo .....10 kW/h

### **COSTE EUROS/M3**

Coste Equipo completo 2 láseres.....98.000  
Ópticas de ZnSe i/soporte.....2x3.500.....7.000  
Coste instalación.....12.000  
Coste mantenimiento.....10x6.000.....60.000  
Consumo.....10x365x24x10kWx0,14.....122.640  
Reposición lámpara.....10x365x24x900/1.000.....78.840  
**COSTE TOTAL..... 378.480**

**M3 POTABILIZADOS...10x365x8.640..... 31.536.000**

EUROS/M3=378.480/31.536.000 = 0,012 Euros

Facturación DELAIR..... 0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,015 Euros**

Tiene un coste final similar al del cloro, 4 veces inferior al Ozono y al menos 40 veces inferior al ultravioleta UV.

## **COSTE M<sup>3</sup> DESINFECCION DE AGUAS**

**CON LASER IR de CO2 sellado de 50 W.** Sin considerar efecto de reflexión

### **DATOS:**

Potencia de salida del Láser IR.....**50 W**  
Caudal máximo a desinfectar.....2.500 m3/día

### **DETALLES DEL DEPÓSITO**

Diámetro..... 90 cm  
Lámina media de agua ... 30-50 cm  
Tiempo de retención 3-5 s  
Reposición 1 tubo gas/10.000 H.....1.500 €  
Vida máquina..... indefinida  
Periodo de amortización previsto..... 5 años/láser  
Consumo .....1 kW/h

### **COSTE EUROS/M3**

Coste Equipo completo 2 láseres.....32.000  
Ópticas de ZnSe i/soporte.....2x3.500.....7.000  
Coste instalación.....6.000  
Coste mantenimiento.....10x3.000.....30.000  
Consumo.....10x365x24x1 kWx0,14.....12.264  
Reposición tubo gas.....10x365x24x1.500/10.000.....13.140

**COSTE TOTAL..... 100.404**

**M3 POTABILIZADOS...10x365x2.500..... 9.125.000**

EUROS/M3=100.404/9.125.200 = 0,011 Euros

Facturación DELAIR.....0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,014 Euros**

## COSTE M<sup>3</sup> DESINFECCION DE AGUAS

CON LASER IR de CO2 sellado de 100 W. Sin considerar efecto de reflexión

### **DATOS:**

Potencia de salida del Láser IR.....**100 W**  
Caudal máximo a desinfectar.....5.200 m<sup>3</sup>/día

### **DETALLES DEL DEPÓSITO**

Diámetro..... 90 cm  
Lámina media de agua ... 30-50 cm  
Tiempo de retención 3-5 s  
Reposición 1 tubo gas/10.000 H.....3.000 €  
Vida máquina..... indefinida  
Periodo de amortización previsto..... 5 años/láser  
Consumo .....2,5 kW/h

### **COSTE EUROS/M3**

Coste Equipo completo 2 láseres.....54.000  
Ópticas de ZnSe i/soporte.....2x3.500.....7.000  
Coste instalación.....10.000  
Coste mantenimiento.....10x5.000.....50.000  
Consumo.....10x365x24x2,5kWx0,14.....30.660  
Reposición tubo gas.....10x365x24x3.000/10.000.....26.280

**COSTE TOTAL..... 177.940**

**M3 POTABILIZADOS...10x365x4.800..... 17.520.000**

EUROS/M3=177.940/17.520.000 = 0,010 Euros

Facturación DELAIR..... 0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,013 Euros**

## COSTE M<sup>3</sup> DESINFECCION DE AGUAS

CON LASER IR de CO2 sellado de 200 W. Sin considerar efecto de reflexión

### **DATOS:**

Potencia de salida del Láser IR.....**200 W**  
Caudal máximo a desinfectar..... 10.368 m<sup>3</sup>/día

### **DETALLES DEL DEPÓSITO**

Diámetro..... 90 cm  
Lámina media de agua ... 30-50 cm  
Tiempo de retención 3-5 s  
Reposición 1 tubo gas/5.000 H.....5.100 €  
Vida máquina..... indefinida  
Periodo de amortización previsto..... 5 años/láser  
Consumo .....4 kW/h

### **COSTE EUROS/M3**

Coste Equipo completo 2 láseres.....100.000  
Ópticas de ZnSe i/soporte.....2x3.500.....7.000  
Coste instalación.....12.000  
Coste mantenimiento.....10x6.000.....60.000  
Consumo.....10x365x24x4kWx0,14.....49.056  
Reposición tubo gas.....10x365x24x5.100/5.000.....89.352

**COSTE TOTAL..... 317.408**

**M3 POTABILIZADOS...10x365x10.368..... 37.843.200**

EUROS/M3=317.408/37.843.200 = 0,008 Euros

Facturación DELAIR..... 0,003 Euros

=====

**TOTAL COSTE M3 ..... 0,011 Euros**

**Tiene un coste final menor al del Nd:YAG, pero su profundidad de penetración es muy inferior.**

Julio Luis García García  
**DEPURACION POR LASER. DELAIR S.L.**  
Recondo, 2-5ºG  
47007 VALLADOLID  
Tf. 983 220150  
delair@gmail.com