DESINFECCION POR RADIACION LASER

EL LASER

El nombre "Láser" es una palabra formada por las iniciales de la frase "light amplification by stimulated emission of radiation" **amplificación de luz por emisión estimulada de radiación**. Un láser es un dispositivo que controla o dirige la forma en la que los átomos emiten energía en forma de fotones, transformando otras formas de energía en radiación electromagnética.

La unidad básica de la luz es llamada fotón. Cuando un átomo es estimulado por medio de un fotón de luz, pasa a un nivel de energía superior produciendo "absorción". Cuando el átomo regresa a su estado fundamental, emite una luz incoherente; denominada "emisión espontánea". Si este átomo fuese nuevamente bombardeado por un fotón de luz, igual al fotón que inicialmente lo estimuló, pasaría al nivel de energía superior, y al descender al estado original, formaría dos fotones de luz, que serán idénticos en longitud de onda, fase y coherencia espacial; esto se llama "emisión estimulada".

El estado de más baja energía se denomina estado fundamental (E_0), y el resto son estados excitados. Cuando un fotón incide en un átomo en estado fundamental, excita un electrón proporcionándole una energía $E = h.f = h.c/\lambda$. El electrón se promociona a un estado superior de energía.

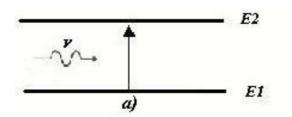
El fotón incidente no cambia nada, como consecuencia del proceso de emisión estimulada. Como resultado del proceso, tenemos dos fotones idénticos generados a partir de un único fotón y un estado excitado. Por ello tenemos una amplificación, ya que ha aumentado el número de fotones.

La capacidad del Láser de concentrar una cantidad considerable de energía en una superficie muy pequeña, y su transformación en energía térmica en el interior del elemento receptor, permite **adaptándole al cabezal terminal una lente divergente**, tratar una determinada superficie en segundos, incidiendo únicamente sobre esa zona.

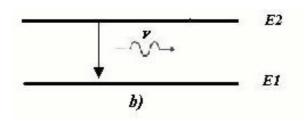
Aprovechando las excepcionales propiedades de la Radiación Láser en su interacción con la materia viva, al ser el aire y los líquidos medios de transmisión de la energía, permite depurar y desinfectar dichos medios, destruyendo los microorganismos en segundos, utilizando una potencia de emisión muy baja.

Procesos básicos de interacción Radiación - Materia.

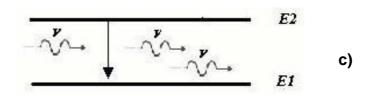
a) Absorción: en un sistema (átomo), con dos niveles de energía con energías E1 y E2, en presencia de radiación con frecuencia resonante con el salto de niveles (h = E2-E1), se produce la absorción de un fotón cuando el átomo es excitado pasando del nivel de energía E1 al de energía E2 (figura a).



b) Emisión espontánea: un átomo decae de E2 a E1 y emite un fotón cuya frecuencia viene dada por h = E2- E1 (figura b).



c) Emisión estimulada: el átomo estimulado por una energía resonante decae de E2 a E1 y se emite un fotón idéntico (misma frecuencia, polarización,...) al que estimuló el átomo (figura c).



La radiación láser está constituida por ondas electromagnéticas y se produce debido a los movimientos de vibración y rotación de los átomos y moléculas. El cuerpo humano percibe esta radiación en forma de calor.

Sus características intrínsecas son:

- 1. **Monocromaticidad.** Emite en un solo color. Ya que todos los fotones que la forman tienen idénticas longitudes de onda λ y frecuencias **f**.
- 2. **Coherencia.** Además de emitir un haz de luz monocromático, todos los fotones del haz de un láser emiten coherentemente en idéntica fase.
- 3. Direccionalidad: Debido a que los fotones del haz son idénticos en longitud de onda, fase y propiedades vectoriales, el haz que emite un láser es totalmente direccional (todos los fotones se comportan como sí provinieran del mismo punto) y muy intenso.

Ofrece ventajas importantes en comparación con otras tecnologías:

- Menor coste. Bajo consumo energético.
- Acción no ionizante.
- Impacto ambiental nulo.
- Gran duración de los equipos. Muy superior al UV.
- · Escaso mantenimiento.
- Su aplicación no presenta riesgo laboral alguno, eliminándose los riesgos producidos por otros procesos de desinfección.

Por todo ello la presente tecnología, que en principio se calculaba sobre el agua, por ser un medio donde la Radiación Láser tiene una enorme capacidad de transmisión, se ha desarrollado y estudiado para otros sólidos y fluidos, tales como sangre, productos lácteos, huevo líquido, zumos, refrescos, vertidos contaminantes, y otros productos y gases, donde hasta la fecha actual, solamente calentando toda la masa del fluido (Procedimiento Pasteur), se podían esterilizar-pasteurizar casi todos los alimentos y bebidas líquidas que se preparan industrialmente y que se envasan con Nº de Registro Sanitario.

Con fecha 9 de junio de 2010 y publicación en el BOPI del día 22, la Oficina Española de Patentes y Marcas, ha concedido a **DELAIR** la Patente nº 200602528(7), "**DISPOSITIVO PARA TRATAMIENTO Y DESINFECCION DE SÓLIDOS Y FLUIDOS MEDIANTE RADIACION LASER**".



OFICINA ESPAÑOLA DE PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



 \bigcirc Número de publicación: $2\ 331\ 034$

21 Número de solicitud: 200602528

(51) Int. Cl.:

CO2F 1/30 (2006.01)

(12) PATENTE DE INVENCIÓN

B₁

- 22 Fecha de presentación: 04.10.2006
- (43) Fecha de publicación de la solicitud: 18.12.2009

Fecha de la concesión: 09.06.2010

- 45 Fecha de anuncio de la concesión: 22.06.2010
- 45 Fecha de publicación del folleto de la patente: 22.06.2010
- Titular/es: DEPURACIÓN POR LÁSER-INFRARROJO DELAIR, S.L. Recondo, 2 5º G 47007 Valladolid, ES
- (12) Inventor/es: Fernández Fernández, Marcelino y García García, Julio Luis
- (74) Agente: Molero Moraleda, Felipe
- (54) Título: Dispositivo para tratamiento y desinfección de sólidos y fluidos mediante radiación láser.
- 67 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 μ 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.

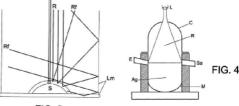


FIG. 2

DESCRIPCIÓN

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

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 limites 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 (CaF₂), germanio (Ge), cuarzo (SiO₂) 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 correspondiente 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 Hanfbook" 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 µm, obtenemos el coeficiente de Absorción (Absorption Coefficient) en 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

35

40

55

65

Profundidad de penetración en el agua

$$I_t = I_{0.}e^{-\alpha.cd}$$
 Ley de Beerschen

It = Intensidad transmitida

I₀ = Intensidad luz incidente

α=Coeficiente de absorción

c = Concentración = $m/Pm = 1x10^{-3}/100 = 10^{-5}$

d = Profundidad de penetración

T= Transmitancia = 0.60

$$LI_t = LI_0 - \alpha.cd.Le$$
 $\alpha.cd = LI_0 - LI_t$

45
$$\alpha.cd = L \frac{I_0}{I_t}$$
 $I_t = I_0.T$

$$\alpha.cd = L \frac{I_0}{I_t}$$
 $I_t = I_0.T$ $\alpha.cd = L \frac{1}{0,60}$ $\alpha.cd = L 1,667$

$$\alpha.cd = 0.51$$
 \Rightarrow $d = \frac{0.51}{\alpha.c}$

Para generador láser de ND:YAG

Coeficiente absorción $\alpha = 0.8$

$$d = \frac{0.51}{0.8 \times 10^{-5}} = 63.750 \text{ cm} = 637, 50 \text{ m}$$

TABLA 2

Comparativo energético UV - IR

$$N_t = N_{\theta \bullet} e^{-\alpha J t}$$

No y Nt = No de bacterias antes y después α=Coeficiente de absorción Jt=Potencia

$$LN_t = LN_0 - \alpha.Jt.Le$$

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

1. Para Ultravioleta

$$\lambda_1 = 254 \text{ N}_m = 0.254 \text{ } \mu\text{m}$$
 $\alpha_1 = 0.05$
 $J_1 t_1 = Ln/0.05$

2. Para generador láser IR de CO2 $\lambda_2 = 10.6 \ \mu m$ $\alpha_2 = 8$

$$J_2 t_2 = Ln/8$$

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.

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.

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

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 /0,21.	1,82 mg /0,2 l.
Total	7.480 /ml.	2.600 / ml.
gérmenes		
Coliformes	2.800 /100 ml.	240 / 100 ml.
Totales	2.000 / 100 iiii.	2407 100 1111.
Coliformes	880 /100 ml.	43 /100 ml.
Fecales	0007100 1111.	45 / 100 mil.
Estreptococos	20 /100 ml.	0 / 100 ml.
Fecales	20 / 100 1111.	07100

TABLA 4 Agua de la EDAR de Palencia

Parámetros	Agua EDAR sin tratar	Agua EDAR tratada con IR
DQO	15 mg / 1.	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.

25

30

5

10

15

20

TABLA 5

Agua de la Presa de Navacerrada

35

Agua Presa Agua Presa **Parámetros** Navacerrada Navacerrada Tratada 99M sin Tratar Oxidabilidad $4 \text{ mg/l } O_2$ 1,5 mg/l O₂ Coliformes Totales 1100 ufc/ml 20 ufc/ml Coliformes Fecales 460 ufc/ml 15 ufc/ml Estreptococos Fecales < 3 ufc/ml7 ufc/ml

45

Descripción de la invención

La radiación desde el espectro visible al infrarrojo lejano comprende las longitudes de onda λ entre 0,38 y 1000 μ m., y en lo referente a la radiación infrarroja hemos de resefiar 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

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

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).

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.

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 oxigeno, 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 iodo 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:

- más eficaz.

- menos costoso.
- no entrañaría riesgo alguno para la salud humana.

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.

Está constituida por tres grupos celulares: hematíes o glóbulos rojos, leucocitos o glóbulos blancos y plaquetas. o trombocitos. Las plaquetas y tos 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.

Los glóbulos rojos o hematíes son células de 7-8 µm de diámetro mayor, en su interior llevan una sustancia. Ilamada hemoglobina que le confiere el color a la sangre, especializados en el transporte de oxigeno (O2) y dióxido de carbono (CO₂) 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.

Los glóbulos blancos o leucocitos son células de 6-18 µm 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.

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 μ m de diámetro.

60

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 $(0,1 \mu m)$.

Si en un recipiente de acero inoxidable u otro material metálico reflectante, colocamos como elemento divisorio una membrana semipermeable con poros de 1-2 μ 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

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 μm (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:

 $\beta_{\text{ext}} = \beta_{\text{absorción}} + \beta_{\text{difusión}}$

$$I_x = I_0.e^{-\beta.x} = I_0.e^{-\beta_{\text{extension.}} \text{espesor}}$$
 LEY DE BEER

I = Intensidad láser T

25

30

40

45

50

60

65

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

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: $T = e^{-\beta_{\text{extension}} \cdot ds}$.

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 H₂O.

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 cm. en el caso de leche y zumos y 5 mm para huevo liquido; 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:

 $\beta_{\rm extinción} \approx \beta_{\rm absorción}$

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

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

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

Si la leche tiene una densidad de 1,1 gr./cm³(Kg/l), se tiene:

$$\beta_{\rm extinción} \approx \beta_{\rm absorción\ para\ el\ agua} + (1'1-1).\ \beta_{\rm absorción\ del\ agua}$$

Tomando como densidad del agua (1 Kg/l), para un láser de longitud de onda λ =1'06 μ m., en la curva de transmisión obtenemos un coeficiente de absorción α = 0.8 cm⁻¹.

$$\beta_{\text{extinción}} = 0.8 + (1.1-1). \ 0.8 = 0.8 + 0.1 \ \text{x} \ 0.8 = 0.88 \approx 0.9$$

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

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:

$$I = I_o.e^{-\beta extinción.espesor}$$

5

a).- Para una Potencia de 100 vatios

15

b).- Para una Potencia de 20 vatios

Efecto de pasterización 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.

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.

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.

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.

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 germinicida λ entre 0,38 y 1000 μ m. produciría un efecto calorífico provocando la eliminación de los microorganismos contaminantes.

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 amoniaco (o urea), que son vertidos por los bañistas. Estas cloraminas causan "ojos rojos", irritación de piel, olor característico y pueden ser cancerígenos.

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.

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:

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 limites de 0.38 a $1000~\mu m$, 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.

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

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.

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.

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

La figura 1 corresponde al dispositivo, consistente en una lente divergente (L) de seleniuro de zinc (ZnSe), arseniuro de galio (GaAs), fluorita (CaF_2) , germanio (Ge), cuarzo (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.

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

65

R: Radiación láser

S: Semiesfera

o. ocimes

Lm: Lámina metálica reflectante

R_f: Radiación reflectada

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 μ m, mediante las que obtenemos en ordenadas el Coeficiente de Absorción en 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: L\u00e4mina met\u00e4lica 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

30

40

50

Ms: Membrana semipermeable con poros de 1-2 μ m

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

- 1. Esterilización por irradiación láser.
- 2. Filtrado y Bombeo.
 - 3. Calefactado y pequeña cloración.
 - 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.

- 4. Generador láser.
- L. Lente divergente

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.

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

- 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 pasterización 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 que emite radiación pulsada o continua, dentro del espectro de longitud de onda λ entre 0,38 y 1000 μm, presenta adaptada a su cabezal terminal una lente divergente (L) de apertura variable y su radiación (R) es susceptible de incidir 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.
- 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 (ZnSe), o arseniuro de galio (GaAs), o fluorita (CaF₂), o germanio (Ge), o cuarzo (SiO₂), u otro material similar.
- 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.

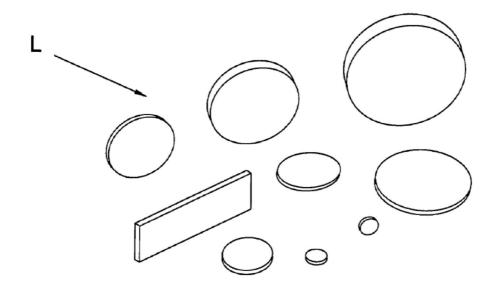


FIG. 1

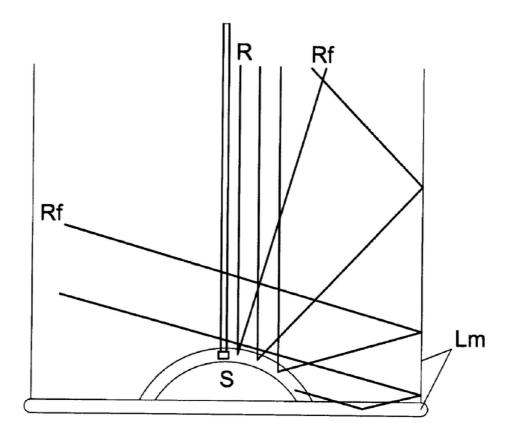
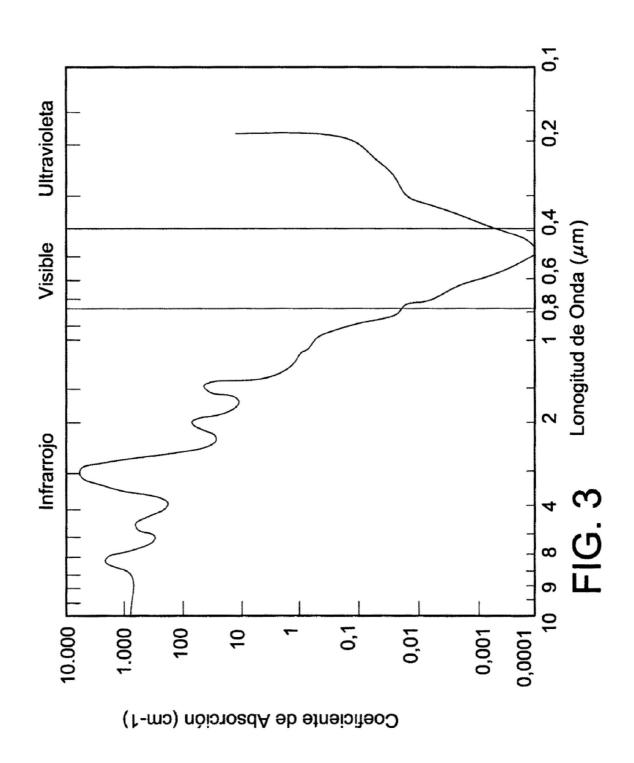
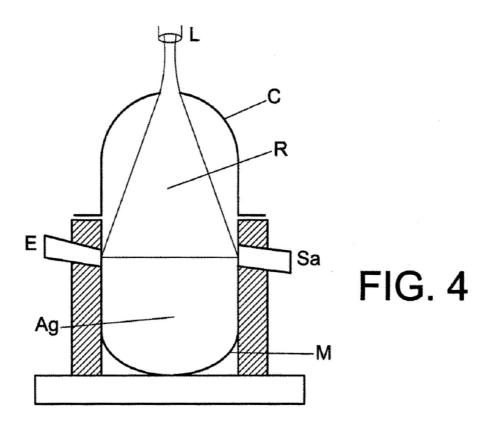
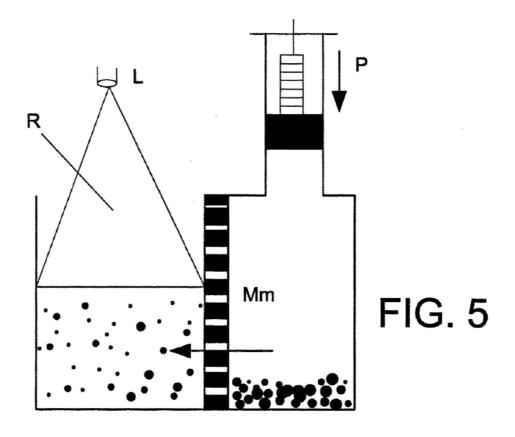
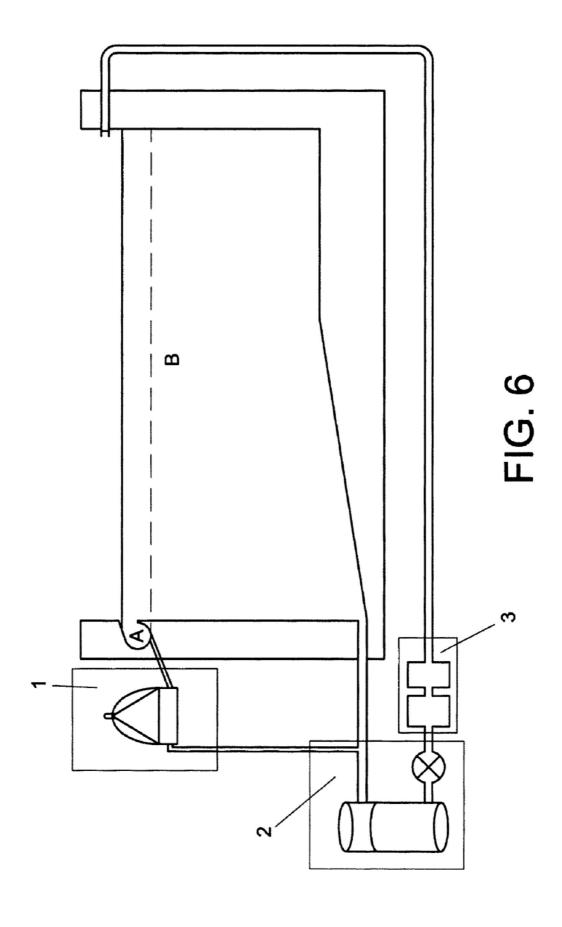


FIG. 2









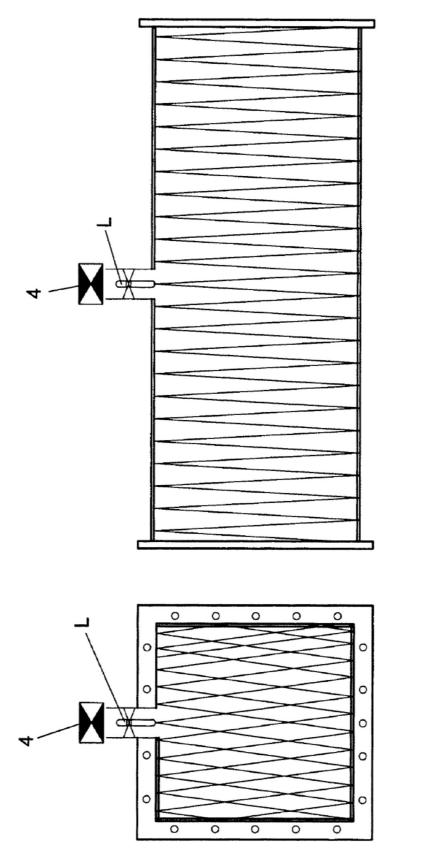
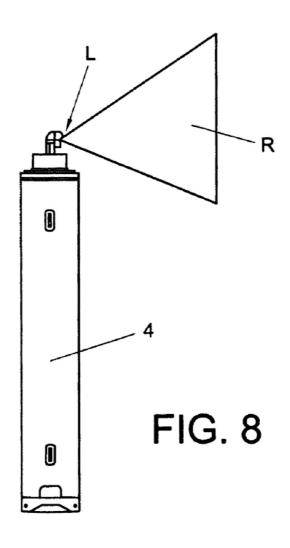
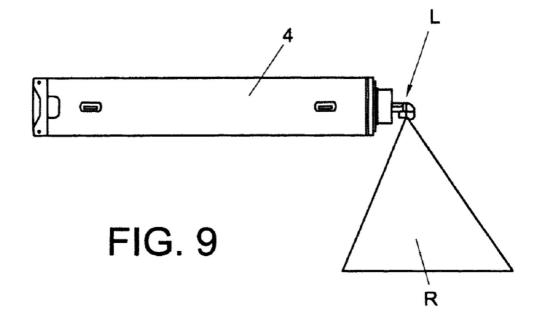


FIG. 7





INVESTIGACION Y DESARROLLO

El Laboratorio Agroalimentario **EPTISA** y el Centro de Tecnología Láser (**C.T.L.**) de Valladolid, han verificado y comprobado en varios ensayos la eficacia de la Patente "**Dispositivo con láser para la depuración de aguas contaminadas**". Las pruebas de comprobación han sido realizadas en el referido Centro de Tecnología Láser, sometiendo aguas contaminadas tomadas del Canal del Duero, de la EDAR y el Colector de Palencia a las radiaciones de luz coherente láser de las bandas de IR, utilizándose láseres de tipos diferentes.

Durante el mes de julio del 2.001, el Laboratorio **ALCORA S.A**., ha realizado los correspondientes análisis de aguas de la Presa de Navacerrada, sometidas a irradiación Infrarroja mediante un Láser de Nd:YAG facilitado por ROFIN BAASEL ESPAÑA.

En Diciembre de 2007 hemos realizado conjuntamente con **DAM**, las pertinentes pruebas en la Unidad de Ingeniería de Sistemas Láser, del Instituto Tecnológico **AIDO** de Valencia, que han sido analizadas por el Laboratorio **ENAC** (Análisis de Aguas, Lodos, Residuos y Suelos), para comprobar las características del sistema, así como su aplicación a la Desinfección de Líquidos. Las aguas residuales provenientes de la **EDAR PINEDO** de Valencia, previamente filtradas mediante una membrana de celulosa de 0,45 micras de poro, fueron recogidas en la EDAR, y llevadas en recipientes cerrados y debidamente aislados al Instituto Tecnológico **AIDO**, para ser sometidas a los correspondientes Tratamientos de Radiación mediante Láser Infrarrojo de CO2 de emisión continua y **desprovisto de lente divergente**, aplicándose distintas Potencias y Tiempos de exposición.

Las aguas procedentes de la EDAR (ARF), fueron sometidas a varias Potencias y Tiempos de radiación (T1, T2, T3, T4, T5 Y T6), con la finalidad de comprobar la eficacia máxima de la radiación Láser y el tiempo de exposición más satisfactorio.

Los resultados de estas pruebas se encuentran debidamente certificados por dichas Entidades.

GENERADOR LASER.

Dispositivo que emite radiación de luz coherente, monocromática y constante mediante emisión estimada.

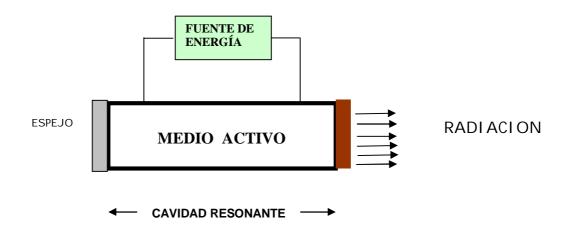
Medios de un Generador láser.

Cualquier láser, se compone de cinco partes básicas:

- 1. Un Medio activo o Amplificador óptico. Haz de luz coherente que entra por uno de sus extremos y se amplifica por medio de la emisión estimulada.. Consiste en un conjunto de átomos o moléculas que al ser excitados provocan la inversión de población (N2>N1. La luz láser es generada dentro del medio activo, que está confinado en la cavidad resonante y puede ser una sustancia:
 - a. **Sólida.** Láser de **Nd:YAG**, **Diodos**,... En el láser de **Nd:YAG** el medio activo es un cristal de granate de itrio y aluminio (**Y**₃**Al**₅**O**₁₂), conocido como YAG, dopado aproximadamente con un 1% de ión de Nd³⁺.
 - b. Gaseosa. Láser de CO2, He-Ne,.. El medio activo es una mezcla gaseosa. En el de CO2 el medio activoestá constituido por una mezcla aprox. de 10% de CO2, 40% de N₂ y 50% de He
 - c. Líquida y química. Tintes inorgánicos, colorantes,...
- **2. Un Mecanismo de excitación o Bombeo.** Fuente de energía que excita los átomos moléculas para crear la inversión de población. Mecanismo que entrega energía al medio activo (térmica, eléctrica u óptica), destinado a producir la excitación de los átomos del medio activo o amplificador láser mediante luz. En la terminología láser, se conoce el proceso de estimular el medio de amplificación como "**bombeo**".
 - En los láseres de estado sólido (Nd:YAG), el bombeo del medio activo YAG, es de tipo óptico por medio de lámparas de flash (Xenón o Kriptón) o mediante otro láser de Diodo, siendo los fotones que emiten absorbidos por los átomos de la cavidad amplificadora, los cuales pasan de su estado base a uno excitado, produciendo inversión de población.
 - En los láseres de gas (CO2,....) y en los de semiconductor el bombeo es de tipo eléctrico, produciendo una intensa descarga eléctrica en los átomos que se encuentran en la cavidad amplificadora. Parte de la energía de los electrones de la descarga es transferida por colisiones electrón-átomo a los átomos contenidos en la cavidad, logrando que éstos pasen de su estado base a uno excitado, originando así la inversión de población.
- 3. Un Resonador óptico o Cavidad resonante. Elemento que contiene el medio activo. Cavidad en la que un haz de luz después de múltiples reflexiones en los espejos, se mueve en la dirección del eje de la cavidad y permanece en esa dirección si no ocurre ninguna perturbación exterior. Básicamente está formado por dos espejos altamente pulidos enfrentados y alineados, colocados a ambos extremos del medio activo, uno de reflexión total y el otro semi-reflectante (su reflectividad es del orden del 80%), la función es la de hacer rebotar hacia delante y atrás la radiación a través del medio activo para "retroalimentar el sistema", favoreciendo el proceso de amplificación (retroalimentación óptica) y dejando salir únicamente un porcentaje de energía presente en su interior. La retroalimentación obliga a cada fotón a pasar varias veces a través del medio activo, los fotones que pasan a través de un medio activo con una población inversa de electrones son amplificados por una emisión estimulada. Debido al mecanismo de retroalimentación, solo permanecerán en el medio activo los fotones que se muevan entre los espejos, lo que provoca la direccionalidad del haz de salida. La cavidad de resonancia óptica es un elemento de retroalimentación positiva que guía a los fotones viajando paralelos a su eje, adelante y atrás a través de su medio activo, permitiendo de esta forma una amplificación repetida y así potencialmente una salida más significativa.

En tales cavidades, la energía coherente de fotones se genera por la amplificación repetida, estando solamente limitado el total por el porcentaje de energía de entrada y la cantidad de energía de salida en el haz de luz láser.

- **4.** Un **Acoplador de salida**, para permitir la salida de la radiación electromagnética del sistema láser por el espejo parcialmente reflectante situado en un extremo de la cavidad óptica.
- 5. Una Fuente de Alimentación conexionada a la red eléctrica. El conexionado del Generador láser a la red eléctrica se realiza mediante una Fuente de Alimentación, que consta de un puente rectificador a base de diodos que transforma la tensión trifásica de entrada en tensión continua en una batería de condensadores, cuya misión es la de almacén energético. Dicha fuente necesita para su producción una toma de corriente trifásica de 16 a 25 A y un sistema de refrigeración (toma de agua, etc.).



LENTES DIVERGENTES.

Constituyen el sistema más seguro de la dispersión Láser, no causando ninguna pérdida en la calidad de la emisión. Solamente habrá que observar las dimensiones del diámetro del haz tras la dispersión.



Se utilizan para ampliar el campo de cobertura, distribuyendo el rayo láser, irradiando energía calorífica en espacios cerrados y abiertos a tenor de la masa contaminante a eliminar.

Las lentes divergentes pueden ser de: Seleniuro de zinc (ZnSe), Arseniuro de galio (GaAs), Fluorita (Ca F_2), Germanio (Ge), Cuarzo (SiO $_2$) u otro material similar. Su apertura variará a tenor de la superficie a tratar.

Pueden tener forma poligonal, cilíndrica o esférica.

El funcionamiento del láser puede ser descrito de la siguiente manera.

- 1. Con el bombeo del medio láser, la luz es emitida espontáneamente. Una pequeña fracción de esta luz ilumina dos espejos y es dirigida nuevamente hacia el medio de ganancia óptica y amplificada coherentemente, una y otra vez. Siempre que la ganancia total sea mayor que las pérdidas la señal se vuelve cada vez mayor. La inversión de población empieza entonces a disminuir, pues, cada vez más átomos preparados decaen por estimulación. Finalmente, la ganancia se torna igual a las pérdidas (saturación de la ganancia), y el láser entra en un régimen estacionario de oscilación. Considérese que el rayo láser se obtiene a la salida del oscilador, generalmente por transmisión parcial de la luz a través de uno de los dos espejos. Típicamente, la reflectividad de uno de los espejos es aproximadamente 100% mientras que el otro refleja aproximadamente el 80%, dejando pasar un 20% de la intensidad incidente. Hay láseres que solo entran en oscilación si la reflectividad de los espejos es superior a un 95% (HeNe), mientras que otros funcionan con solamente un 4% de realimentación (feedback).
- 2. Por el hecho de que la luz es reflejada entre espejos paralelos, la salida del láser se da, en general, en forma de un haz paralelo de luz, altamente colimado (muy paralelo), monocromático (pequeño ancho de banda) y coherente (una sola fase define la onda electromagnética emergente). La coherencia puede ser medida por la memoria que el láser tiene de lo que se emitió antes. Una lámpara incandescente emite luz blanca (varios colores), en varias direcciones, y sin relación de fase, dado que la emisión es toda espontánea debida a bombeo térmico (efecto Joule). En el caso del láser, por causa de la amplificación coherente y de la retroalimentación, la luz emitida en cualquier instante permanece en relación de fase con la luz emitida anteriormente durante un período considerable. Este período se llama "tiempo de coherencia", y es la medida de la memoria de fase del láser. Si multiplicamos este período por la velocidad de la luz se tiene la "longitud de coherencia" del láser. Si tomamos un haz de láser y lo dividimos en dos partes con un espejo semi-reflector y volvemos a unir las dos partes después de hacerlos recorrer un camino igual, aparecen franjas de interferencia siempre que la diferencia de caminos haya sido menor que la longitud de coherencia de la luz del láser, porque la relación de fase no se ha perdido.
- 3. La coherencia puede ser explorada en muchas otras aplicaciones, como una medida exacta de distancias muy pequeñas (<1um) y en discos compactos. La direccionalidad de los haces puede ser utilizada de innumerables maneras. Un láser puede ser utilizado para medir la altura de un edificio o de una grada. Un láser que desde Tierra ilumina la Luna diverge a un "spot size" de apenas algunos kilómetros. Un prisma reflejando la luz desde la Luna permite determinar la distancia Tierra Luna con una precisión de 1m.

PROCESO DE EMISION

El fenómeno de emisión del Láser esta determinado por la capacidad que tienen los fotones para estimular la emisión de otros fotones de la misma frecuencia y dirección.

Conforme la teoría Cuántica los átomos y moléculas tienen un nivel definido de energía y pueden pasar a otro nivel en saltos discontinuos. El cambio de energía necesario para un salto es producido por la absorción o emisión de una cantidad de energía electromagnética.

En una cavidad Láser los fotones quedan atrapados entre los espejos de sus extremos. Los fotones en su vaivén entre espejos chocan entre si generando mas fotones.

Cuando la cantidad es suficiente se produce una emisión a través de uno de los espejos que se ha fabricado un 10-20% menos denso que el otro.

Para producirse la luz Láser debe existir primero una "inversión de población". Esto es logrado por el cambio obtenido en el "medio amplificador", debido a la activación de la "fuente de energía", lo cual lleva a las moléculas del "medio activo" a un estado excitado. Se inician entonces los fenómenos de absorción, emisión espontánea y emisión estimulada, formándose una gran cantidad de fotones.

Una vez que comienza la salida de **fotones**, ellos se reflejan en todas las direcciones dentro del tubo o cavidad sellada donde se encuentra el **medio activo amplificador**, hasta que haya concentrado suficiente energía para pasar a través del extremo conformado por el **espejo de reflexión parcial**, y formar así la luz Láser.

Se entiende que la luz Láser es una forma de energía. Esta energía viene representada en Joules (J).

La potencia de un Láser viene expresada en vatios (W), y representa la cantidad de energía emitida en Joules por segundo. Un vatio de potencia es equivalente a un Joule de energía emitida en un segundo.

Potencia (W) = Energía (J) / Tiempo (seg.)

La luz Láser puede ser emitida de varias formas. Dependiendo del tipo de Láser, se puede emitir un rayo de onda "continua" o un rayo "pulsátil".

Un rayo de **ondas continuas** consiste en la estabilización de la energía emitida continuamente. Es decir, mientras el Láser esté activado, la salida del haz será constante.

Los Láser que emiten de forma pulsada logran un conjunto de pulsaciones repetidas en serie, ya que la energía es emitida en cortos estallidos; entre las pulsaciones no hay energía que se transmita. Estos pulsos se producen en unidades de tiempo. Este parámetro se mide en pulsos por segundo: p.p.s.

El tamaño del punto luminoso, o punto focal, representa el área de energía del Láser que se aplica al material que sirve de blanco. Se mide en centímetros cuadrados (cm²); también se expresa en términos del diámetro del área circular en micrones (µ).

La densidad de la potencia es variable, más importante en la determinación del efecto que un Láser tiene sobre el material irradiado. Se calcula como la potencia, expresada en vatios (W), dividida por el tamaño del punto luminoso en centímetros cuadrados (cm²).

Densidad de potencia = Potencia (W) / tamaño del punto luminoso (cm²)

PARAMETROS IMPORTANTES DEL LASER.

1. LONGITUD DE ONDA.

Las longitudes de onda más usadas van desde la del Helio-Neón (HeNe), que emite en una longitud de onda λ entre 0,543 y 3,39 μ m, hasta la del Dióxido de carbono (CO2), de longitud de onda λ 1,064 μ m.

A excepción del láser de CO2 que emite sólo en onda continua, el resto emiten en onda continua y pulsante.

$$\mu = \text{micro} = 10^{-6}$$

$$n = nano = 10^{-9}$$

$$p = pico = 10^{-12}$$

2. DOSIFICACION (d). Es el parámetro más importante, se expresa mediante:

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{E}}{\mathbf{A}} \ (\mathrm{J/cm^2})$$

 $d = dosis en J/cm^2$

E = Energía de luz en Joules dirigida a una unidad de área.

 $A = \text{Área en cm}^2$ durante un tiempo determinado **t**.

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

$$\mathbf{E} = \mathbf{P.t} \text{ (w.s)} = \mathbf{P.t} \text{ (J)}$$

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{P.t}}{\mathbf{A}} \text{ (J/cm}^2)$$

3. TIPO DE EMISION.

a) **PULSANTE.** Cuando el láser es pulsante el rendimiento no es constante, lo que permite el uso de los términos de potencia (P) y potencia máxima (Pm). Si por ejemplo la potencia P es el 50% de la potencia máxima Pm, el láser es pulsante, y la formula de dosificación será:

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{Pm.t}}{\mathbf{A}}$$

En los láseres de Nd:YAG la duración del pulso es de 100-200 ns y el poder máximo entre 6-200 W. Suponiendo una duración de pulso de 150 ns y un poder máximo de 10W, la energía **E** emitida en cada pulso sería:

E = **Pm.t** para t=150ns = 0,15 μs
E =
$$10 \times 0,15 = 1,5$$
W. μs (W.s=J) = **1,5** μ**J** (microjulios).

Si el láser emite 100 pulsos por Segundo (frecuencia del pulso 100 Hz), el poder de rendimiento será:

$$P = \frac{E}{t} = \frac{1.5}{\frac{1}{100}} = 150 \ \mu W = 0.15 \ mW \ (miliwatios).$$

Esto indica que en modo pulsante la Potencia varía con el número de pulsos emitidos por segundo.

La dosificación para el pulsante sería:

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{P.t}}{\mathbf{A}} = \frac{0.15 \, \text{mW.s/cm}^2}{1 \, \text{cm}^2} = \mathbf{0.15} \, \text{mW.s/cm}^2$$

b) **CONTINUA.** Cuando el láser emite en onda continua, para un poder de 10 W se tiene:

$$d = \frac{P.t}{A} = 10 \text{ W.s/cm}^2$$

Para una potencia de 100 vatios, obtendríamos:

- Láser pulsante d = 1,5 mW.s/cm²
- Láser continuo d = 100 mW.s/cm²

** Si dicha potencia de 100 vatios, la óptica divergente la aplica sobre una superficie circular de 60 cm. de diámetro, se tendrá:

$$S = \pi r^2 = 3.14 \times 30^2 = 2827 \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{P.t}}{\mathbf{A}} = \frac{100 \text{ W.s}}{2827 \text{ cm}^2} = 0,035 \text{ W.s/cm}^2 = 35 \text{ mW.s/cm}^2$$

Para una potencia de 200 vatios, obtendríamos:

- Láser pulsante d = 3 mW.s/cm²
- Láser continuo d = 200 mW.s/cm²

** Si dicha potencia de 200 vatios, la óptica divergente la aplica sobre una superficie circular de 50 cm. de diámetro, se tendrá:

$$S = \pi r^2 = 3.14 \times 25^2 = 1963 \text{ cm}^2$$

$$\mathbf{d} = \frac{\mathbf{P.t}}{\mathbf{A}} = \frac{200 \text{ W.s}}{1963 \text{ cm}^2} = 0,102 \text{ W.s/cm}^2 = \mathbf{102} \text{ mW.s/cm}^2$$

TIPOS DE LASERES. Los láseres pueden clasificarse de diversos modos:

- 1. Por la naturaleza de su medio activo:
 - Láseres de medio activo gaseoso: láseres de He-Ne, de CO2, de N2, de Excímeros.
 - Láseres de estado sólido: cuyo medio activo consiste en un cristal dopado artificialmente con iones de otro material. Láser de Nd: YAG.
 - Láseres de semiconductores: El medio activo está constituido por un diodo con una elevada concentración de impurezas.
 - Láseres de colorantes: El medio activo es generalmente una solución alcohólica de sustancias orgánicas (colorantes).
- 2. Por su forma de emisión: Continuos o Pulsados.
- 3. Por la longitud de onda:

•	Ultravioleta (UV):	0,100 a 0,400 µm
	∘ UVA-A:	0,315 a 0,400 μm
	。 UVA-B.	0,280 a 0,315 μm
	• UVA-C :	0.100 a 0,280 µm
•	Visible (VIS):	0,400 a 0,700 µm

Infrarrojo (IR)

Infrarrojo Cercano: 0,700 a 3,000 μm
 Infrarrojo Medio: 3,000 a 30,00 μm
 Infrarrojo Lejano: 30,00 a 1.000 μm

4. Por el mecanismo de Excitación: Descarga eléctrica, Inyección de corriente, Bombeo óptico, Químico.

LÁSERES	Rango espectral	Longitud de Onda en nm
Láser de Fluor F ₂	UV	157
Láser de Fluoruro de Argón ArF	UV	193
Láser de Fluoruro de Kriptón KrF	UV	222
Láser de Cloruro de Xenón XeCl	UV	308
Láser de Nitrógeno N ₂	UV	337
Láser de Fluoruro de Xeón XeF	UV	353
Láser de Helio-Cadmio HeCd	UV - VIS	325-442
<u>Láser de Argón</u> Ar	UV – VIS	351-514
Láser de Nd:YAG	UV – VIS - IR	236-1330
Láser de Xenón Xe	VIS	499-541
<u>Láser de Kriptón</u> Kr	VIS	528-647
Láser Verde KTP (Potasio-Titanio-Fósforo)	VIS	532
<u>Láser de Helio-Neón</u> HeNe	VIS - IR	594-3391
Láser de Alejandrita	VIS - IR	655-815
Láser de Diodo	IR	790-1320
Láser de Nd:Cristal Nd:YVO4	IR	914
Láser de Fluoruro de Hidrógeno HF	IR	2700
Láser de Fluoruro de Deuterio DF	IR	3600-4200
Láser de Monóxido de Carbono CO	IR	5000-7000
Láser de Dióxido de Carbono CO ₂	IR	9600-10.600

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 = **6,63x10**⁻³⁴J.s
1 eV = 1,6x10⁻¹⁹J
$$\Rightarrow$$
 1 J = 6,25x10¹⁸ eV
h = 6,63x10⁻³⁴Js * $\frac{6,25x10^{18}eV}{1J}$ = **4,14x10**⁻¹⁵ eV.s
E = h.f E = 0,1 eV = 4,14x10⁻¹⁵ eV.s . f \Rightarrow f \geq 0,1/4,14x10⁻¹⁵ = **2,4x10**¹³ seg⁻¹ (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 $f < 2,4 \times 10^{13}$ 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 gigaherzios = 3x10^{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.

EFECTOS 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:

$$E = h.f$$

La frecuencia f y la longitud de onda λ se relacionan mediante la expresión:

$$\lambda = v.T = \frac{v}{f}$$
 \Rightarrow frecuencia en Hz $f = \frac{v}{\lambda}$

E = Energía (ev)

 $h = constante de Planck = 6,63x10^{-34} Julio segundo ó 4,14x10^{-15} eV.s$

f = frecuencia en Hz.

 $V = \text{velocidad de la luz en el vacío} = 3x10^8 \text{ m/seg} = 3x10^{10} \text{ cm/s} = 3x10^{14} \text{ } \mu\text{m/s}$

Láseres VIS e IR con efecto ionizante

CLASE	LASERES	Longitud de onda λ	Frecuencia f	Energía E (eV)
VIS	He-Cd	0,38 a 0,44 μm	5,7 a 9,1x10 ¹⁴ Hz	2,4 a 3,8 eV
Visible	Argón	0,38 a 0,52 μm	$5.7 \text{ a } 7.8 \text{x} 10^{14} \text{ Hz}$	2,4 a 3,2 eV
0,38-0,78 μm	He-Ne	0,54 a 0,78 μm	$3.8 \text{ a } 5.5 \text{x} 10^{14} \text{ Hz}$	1,6 a 2,3 eV
	Rubí	0,69 μm	$5.1 \times 10^{14} \text{ Hz}$	2,1 eV
	Alejandrita	0,72 a 0,80 μm	$3.7 \text{ a } 4.1 \text{x} 10^{14} \text{ Hz}$	1,5 a 1,7 eV
IR	He-Ne	0,78 a 3,39 μm	$0.88 \text{ a } 3.8 \text{x} 10^{14} \text{ Hz}$	0,36 a 1,6 eV
Infrarrojo	GaAs	0,90 μm	$3.3 \times 10^{14} \text{ Hz}$	1,4 eV
0,78- 1000 μm	Nd:YAG	1,06 μm	$2.8 \times 10^{14} \text{ Hz}$	1,15 eV
0,76-1000 μm	Ho:YAG	2,1 μm	$1,4x10^{14} \text{ Hz}$	0,58 eV
	Er:YAG	2,94 μm	$1,02x10^{14} Hz$	0,42 eV
	Excímeros	1,9 a 3,5 μm	$0.85 \text{ a } 1.5 \text{x} 10^{14} \text{ Hz}$	0,35 eV
	CO2	10,64 μm	$2.8 \times 10^{13} \text{ Hz}$	0,12 eV
	XXX	12,5 μm	$2,4x10^{13} Hz$	0,1 eV

Se puede concluir que todos los fotones u ondas electromagnéticas con frecuencia inferior a 2,4x10¹³ herzios 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 µm.

EL ESPECTRO ELECTROMAGNÉTICO

La figura describe parte del espectro electromagnético.

Cada región del espectro tiene un nombre particular, al igual que su rango de longitudes de onda, frecuencias y energías.

Energía del Fotón E	Longitud de onda λ	Frecuencia f
V	μm	Hz
$E = h.f = h.v/\lambda$	$\lambda = \mathbf{v.f}$	$\mathbf{f} = \mathbf{v}/\lambda$
12,4 a 4,4 eV	0,1 a 0,28	30 a 10,7x10 ¹⁴ Hz
4,4 a 3,9 eV	0,28 a 0,315	10,7 a 9,5x10 ¹⁴ Hz
3,9 a 3,3 eV	0,315 a 0,38	9,5 a 7,9x10 ¹⁴ Hz
3,3 a 2,3 eV	0,38 a 0,54	7,9 a 5,6x10 ¹⁴ Hz
2,3 a 1,8 eV	0,54 a 0,70	5,6 a 4,3x10 ¹⁴ Hz
1,8 a 1,6 eV	0,70 a 0,80	4,3 a 3,8x10 ¹⁴ Hz
1,6 a 1,2 eV	0,80 a 1	3,8 a 3x10 ¹⁴ Hz
1,16 eV	1,06	$2.8 \times 10^{14} \text{Hz}$
1,16 a 0,58 eV	1,06 a 2,1	2,8 a 1,4x10 ¹⁴ Hz
0,58 a 0,37 eV	2,1 a 3,5	1,4 a 0,9x10 ¹⁴ Hz
0,12 eV	10,64	$0.28 \times 10^{14} \text{Hz}$
0,1 eV	12,5	$0.24 \times 10^{14} \text{ Hz}$

Región espectral
ESPECTRO ULTRAVIOLETA
ESPECTRO VISIBLE
ESPECTRO INFRARROJO

v= velocidad de la luz en el vacío = $3x10^8$ m/seg = $3x10^{14}$ µm/s h = constante de Planck = $6,63x10^{-34}$ Julios segundo = $4,14x10^{-15}$ eV.s

Las radiaciones ionizantes, al interaccionar con el organismo, provocan diferentes alteraciones en el mismo, debido a la ionización provocada en los elementos constitutivos de sus células y tejidos. Esta acción puede ser directa, produciéndose en la propia molécula irradiada, o indirecta si es producida por radicales libres generados, que extienden la acción a otras moléculas.

El daño biológico producido tiene su origen a nivel macromolecular, en la acción de las radiaciones ionizantes sobre las moléculas de ADN (ácido desoxirribonucleico), que juegan una importante función en la vida celular. Esta acción puede producir fragmentaciones en las moléculas de ADN, o bien puede ocasionar transformaciones en la estructura química de las moléculas de ADN originando mutaciones.

Todas estas alteraciones en las moléculas de ADN provocan daños a nivel celular, e incluso la muerte de la célula.

Cada una de estas radiaciones tiene unas características peculiares que hacen que cuando entran en contacto con el cuerpo humano los efectos de cada una de ellas sean bastante distintos. Esas diferencias de comportamiento son consecuencia de la distinta frecuencia asociada a cada radiación.

Las radiaciones infrarrojas tienen menor frecuencia que las ultravioleta y, por ello, no son capaces de producir reacciones químicas; sus efectos, por tanto, son únicamente de carácter térmico.

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 iodo 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.

ANEXO I.A

Requisitos que deben cumplir las aguas residuales urbanas depuradas para usos urbanos y agrícolas.

1. USOS URBANOS	Nematodos Intestinales	Escherichia Coli	Sólidos en Suspensión	Turbidez
Calidad 1.1: RESIDENCIAL a) Riego de jardines privados b) Descarga de aparatos sanitarios.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 ml	10 mg/L	2 UNT
Calidad 1.2: SERVICIOS a) Riego de zonas verdes urbanas (parques, campos deportivos y similares. b) Baldeo de calles. c) Sistemas contra incendios d) Lavado industrial de vehículos.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 ml	20 mg/L	10 UNT

2. USOS AGRÍCOLAS	Nematodos Intestinales	Escherichia Coli	Sólidos en Suspensión	Turbidez
Calidad 2.1 a) Riego de cultivos con sistema de aplicación del agua que permita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles para alimentación humana en fresco.	1 huevo/10 L	100 UFC/100 ml	20 mg/L	10 UNT
Calidad 2.2 a) Riego de productos para consumo humano con sistema de aplicación de agua que no evita el contacto directo del agua regenerada con las partes comestibles, pero el consumo no es en fresco sino con un tratamiento industrial posterior. b) Riego de pastos para consumo de animales productores de leche o carne. c) Acuicultura.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 ml	35 mg/L	No se fija límite
Calidad 2.3 a) Riego localizado de cultivos leñosos que impida el contacto del agua regenerada con los frutos consumidos en la alimentación humana. b) Riego de cultivos de flores ornamentales, viveros, invernaderos sin contacto directo del agua regenerada con las producciones. c) Riego de cultivos industriales no alimentarios, viveros, forrajes ensilados, cereales y semillas oleaginosas.	1 huevo/10 L	10.000 UFC/100 ml	35 mg/L	No se fija límite

3. USOS INDUSTRIALES	Nematodos Intestinales	Escherichia Coli	Sólidos en Suspensión	Turbidez
Calidad 3.1 a) Agua de proceso y limpieza excepto en la industria alimentaria. b) Otros usos industriales.	No se fija límite	10.000 UFC/100 ml	35 mg/L	15 UNT
c) Agua de proceso y limpieza para uso en la industria alimentaria.	1 huevo/10 L	1.000 UFC/100 ml	35 mg/L	No se fija límite
Calidad 3.2 a) Torres de refrigeración y condensadores evaporativos.	1 huevo/10 L	Ausencia UFC/100 ml	5 mg/L	1 UNT

4. USOS RECREATIVOS	Nematodos Intestinales	Escherichia Coli	Sólidos en Suspensión	Turbidez
Calidad 4.1 a) Riego de campos de golf.	1 huevo/10 L	200 UFC/100 ml	20 mg/L	10 UNT
Calidad 4.2 a) Estanques, masas de agua y caudales circulantes ornamentales, en los que está impedido el acceso del público al agua.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija límite

5. USOS AMBIENTALES	Nematodos Intestinales	Escherichia Coli	Sólidos en Suspensión	Turbidez
Calidad 5.1 a) Recarga de acuíferos por precolación localizada a través del terreno.	No se fija límite	1.000 UFC/100 ml	35 mg/L	No se fija límite
Calidad 5.2 a) Recarga de acuíferos por inyección directa.	1 huevo/10 L	0 UFC/100 ml	10 mg/L	2 UNT
Calidad 5.3 a) Riego de bosques, zonas verdes y de otro tipo no accesibles al público. b) Sivicultura.	No se fija límite	No se fija límite	35 mg/L	No se fija límite
Calidad 5.4 a) Otros usos ambientales (mantenimiento de humedales, caudales mínimos y similares).	La calidad	l requerida se e	studiará caso	por caso

Resultados de las aguas del efluente de la EDAR de Pinedo al ser sometidas a Radiación con Láser de CO2, 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	Tiempo de Exposición segundos
Agua Sin Tratar ARF	30	<5	7,8x10 ⁵	1,7x10 ⁵	-	-
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.

$$E = P.t (w.s) = 50x3 = 150 (J)$$

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 (7,8x10⁵ y 1,7x10⁵ 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 m³ de agua/día para riego y la Albufera.

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

Consumo Total de Energía = $1500 \times 0.26 \text{ kW/h} \times 24 = 9.360 \text{ kW/día}$

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

 $V = V_1$ (Casquete esférico) + V_2 (Cilindro)

$$V_{1} = \frac{1}{3} \pi \cdot h^{2} \cdot (3R-h) \qquad R = \frac{r^{2} + h^{2}}{2h} = \frac{4.5^{2} + 2^{2}}{2 \cdot 2} = 6.06 \text{ dm}$$

$$V_{1} = \frac{1}{3} 3.14 \times 2^{2} (3 \times 6.06 - 2) = 67.77 \text{ dm}^{3}$$

$$V_{2} = \pi \cdot r^{2} \cdot h = 3.14 \times 4.5^{2} \times 1 = 63.61 \text{ dm}^{3}$$

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

 M^3 desinfección/día = 0,1314 m³/3s = 0,1314×3600×24/3 = 3.784 m³/día

Consumo de energía

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

CONCLUSIÓN.

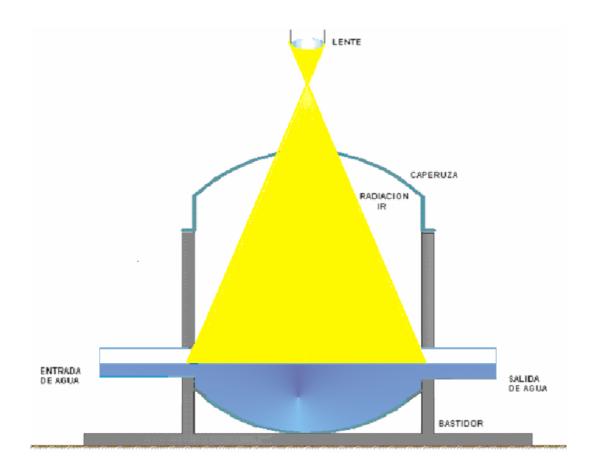
Para desinfectar el mismo volumen de agua de 350.000 m³/día, con láser infrarrojo de 100 vatios de potencia sin considerar el efecto de reflexión, se necesitaría:

Número de láseres = 350.000/3.784 = 92

Consumo de energía

- Láser de CO2 = 48×92 = 4.416 kW/día
- Láser de Nd:YAG = 24×92 = 2.208 Kw/día

El <u>ahorro energético</u> con láseres de Nd:YAG, considerando una lámina de agua de 30 cm de espesor, sería de 7.152 kW/día.



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 CO2.

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 microorganismos. 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.

Volumen de la piscina. 1500 m3 Caudal de derivación. 62,5 m3/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.

Lo supera un Láser de 50 W que desinfecta > 2500 m³/día

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 m³

4	RAEDIA	ITE C	NOTE		1/470	NIE 4500	
1.	MEDIA	$N \vdash S$	515 I E	MAU	VAZO	NE 1500	

Volumen de la piscina	1500 m3
Caudal de derivación	62,5 m3/h
Producción de ozono	. 62,5 g/h
Caudal de gas de alimentación	. 25,0 l/m
Potencia	8,0 KW

2. MEDIANTE RADIACION LASER

CON LASER de CO2 de 50 W. Peso 20 kilogramos

ı	$\overline{}$	^	_	-,	•	^	
ı		/\		•	1	•	٠

Potencia máxima de salida del Láser	50 W
Caudal máximo a desinfectar	1.500 m3/día
Caudal de derivación	62,5 m3/h
Lámina media de agua	20-50 cm
Tiempo de retención	2-6 s
Reposición 1 tubo gas/10.000 h	
Vida máquina	indefinida
Periodo de amortización previsto	10 años/láser
Consumo eléctrico	0,8-1,2 KW/h

2.1. COSTE EUROS M3 CON UN EQUIPO LASER

Coste Láser CO2	14.000
Cabezal y Óptica	3.500
Coste instalación	2.400
Coste mantenimiento10x3.000	30.000
Consumo10x365x24x 1,2 KWx0,10	10.512
Reposición tubo gas10x365x24x1.200/10.000	10.512
COSTE TOTAL	70.924

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

2.2. COSTE EUROS M3 CON DOS EQUIPOS LASER

Coste Equipo 2 Láseres CO2	28.000
Cabezales y Ópticas2x3.500	7.000
Coste instalación	
Coste mantenimiento20x3.000	60.000
Consumo20x365x24x 1,2KW x0,10	21.024
Reposición tubo gas20x365x24x1.200/10.000	21.024
COSTE TOTAL	141.048

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

COSTE M³ 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	
DETALLES DEL DEPÓSITO Diámetro	
COSTE EUROS/M3	
Coste Equipo completo 2 láseres140.000	
Ópticas de ZnSe i/soporte2x3.5007.000	
Coste instalación12.000	
Coste mantenimiento10x6.00060.000	
Consumo10x365x24x1KWx0,108.760	
Reposición diodos10x365x24x3.000/10.00026.280	
COSTE TOTAL)
M3 POTABILIZADOS 10x365x7.500 27.375.000	
EUROS/M3=254.040/27.375.000 = 0,009 Euros	
Facturación DELAIR	
TOTAL COSTE M3 0,012 Euros	

COSTE M³ DESINFECCION DE AGUAS

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

TOTAL COSTE M3 0,014 Euros
Facturación DELAIR
EUROS/M3=343.440/31.536.000 = 0,011 Euros
M3 POTABILIZADOS 10x365x8.640 31.536.000
COSTE TOTAL
Reposición lámpara10x365x24x900/1.00078.840
Consumo10x365x24x10KWx0,1087.600
Coste mantenimiento10x6.00060.000
Coste instalación12.000
Ópticas de ZnSe i/soporte2x3.5007.000
Coste Equipo completo 2 láseres98.000
COSTE EUROS/M3
DETALLES DEL DEPÓSITO Diámetro
DATOS: Potencia de salida del Láser IR
DATOS.

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

COSTE M³ DESINFECCION DE AGUAS

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

DATOS: Potencia de salida del Láser IR
DETALLES DEL DEPÓSITO Diámetro
COSTE EUROS/M3
Coste Equipo completo 2 láseres32.000
Ópticas de ZnSe i/soporte2x3.5007.000
Coste instalación6.000
Coste mantenimiento10x3.00030.000
Consumo10x365x24x1 KWx0,108.760
Reposición tubo gas10x365x24x1.500/10.00013.140
COSTE TOTAL
M3 POTABILIZADOS 10x365x2.500 9.125.000
EUROS/M3=96.900/9.125.200 = 0,011 Euros
Facturación DELAIR0,003 Euros
TOTAL COSTE M3 0,014 Euros

COSTE M³ DESINFECCION DE AGUAS

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

DATOS: Potencia de salida del Láser IR
DETALLES DEL DEPÓSITO Diámetro
COSTE EUROS/M3
Coste Equipo completo 2 láseres54.000
Ópticas de ZnSe i/soporte2x3.5007.000
Coste instalación10.000
Coste mantenimiento10x5.00050.000
Consumo10x365x24x2,5KWx0,1021.900
Reposición tubo gas10x365x24x3.000/10.00026.280
COSTE TOTAL
M3 POTABILIZADOS 10x365x4.800 17.520.000
EUROS/M3=158.180/37.843.200 = 0,010 Euros
Facturación DELAIR 0,003 Euros
TOTAL COSTE M3 0,013 Euros

Julio Luis García García **DEPURACION POR LASER. DELAIR S.L.**Recondo, 2–5°G

47007 VALLADOLID

Tf. 983 220150

delair@gmail.com