

## DESARROLLO DEL LASER "PLC-Art" PARA RESTAURACION DE OBRAS DE ARTE

B. J. Lambert, J. Picans, L. Ponce, M. Arronte, A. Durán, T. Flores, E. Escalona y B. González  
Laboratorio de Tecnología Láser, IMRE - Facultad de Física, Universidad de La Habana

### INTRODUCCION

En la actualidad el procesamiento con láser, encuentra una amplia gama de aplicaciones, que abarca desde la investigación científica y la medicina, hasta las de carácter más comercial como la restauración de obras de arte [1]. Esta última experimenta un creciente auge, motivado por la incorporación al mercado de equipos láser que permiten efectuar una limpieza eficiente y selectiva de superficies de materiales tales como la piedra, el alabastro y el mármol, sin introducir modificaciones en la naturaleza de los mismos. Esta ventaja muy valorada por restauradores, va acompañada de otras como la ausencia de daño mecánico y mínimo daño térmico. Por otro lado, las causas principales que limitan la introducción de esta técnica son el alto costo y volumen del equipamiento disponible en el mercado [2,3].

tareas de mantenimiento, detección y solución de averías. Gracias a sus dimensiones reducidas, puede ser usado tanto para labores de restauración en laboratorios especializados, como para el trabajo de campo.

### OBJETIVOS

La intención de este proyecto fue el diseño y construcción de un equipo láser pulsado de estado sólido, destinado a la limpieza de obras de arte, que debía cumplir con los siguientes requisitos:

- Calidad comparable o superior a los existentes en el mundo.
- Bajo costo de producción.
- Dimensiones reducidas.
- Fácilmente reproducible en condiciones de laboratorio

### ASPECTOS GENERALES

El PLC-Art es un equipo láser de Nd:YAG, destinado a la restauración y conservación de obras de arte. Ha sido diseñado en forma modular, en virtud de la cual, todos sus componentes forman parte de bloques independientes, interconectados mediante cables o fibras ópticas e incluidos dentro de un chasis de microcomputadora del tipo PC-minitower (Figura 1). Esta distribución facilita las



Figura 1.

El PLC-Art, desarrollado totalmente por el Laboratorio de Tecnología Láser del IMRE-Universidad de La Habana, ha pasado el proceso para la obtención de la norma de registro europeo CE [4] y se ha comercializado en países como Italia, Suiza y Argentina.

Sus características técnicas son las siguientes.

- Longitud de onda: 1064 nm
- Régimen de trabajo: Pulsado con frecuencias entre 1 y 10 Hz
- Energía de los pulsos: 300 mJ
- Régimen del pulso: Q: Switch
- Aplicador: fibra óptica de 1 m de longitud
- Controlado electrónicamente
- Comunicación RS-232
- Enfriamiento: Aire-agua (interno).

- Alimentación: 220 VCA
- Consumo de potencia: 1.5 kW
- Dimensiones (mm): 400 x 180 x 350

## DESCRIPCION DEL SISTEMA

El PLC-Art está formado por cinco módulos según se muestra en el siguiente diagrama (Figura 2):

1. Módulo de emisión láser.
2. Sistema de enfriamiento.
3. Módulo de suministro de energía.
4. Módulo de alto voltaje.
5. Módulo de control.

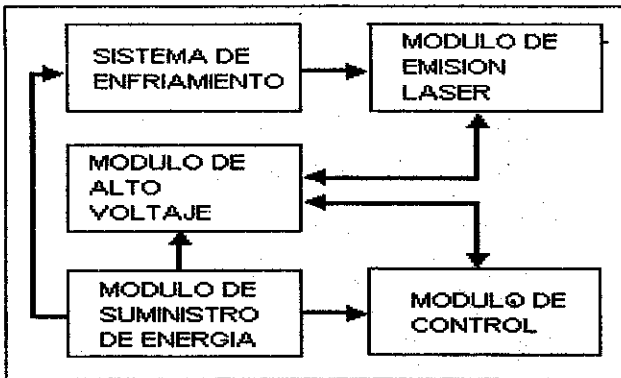


Figura 2.

### Módulo de emisión Láser

En este módulo se obtiene la radiación láser (Figura 3). Lo componen los siguientes elementos:

1. Espejo trasero.
2. Q: Switch
3. Cavity reflectora
4. Lámpara flash de Xenón
5. Barra de Nd: YAG
6. Entradas de agua
7. Espejo delantero
8. Soporte para fibra óptica

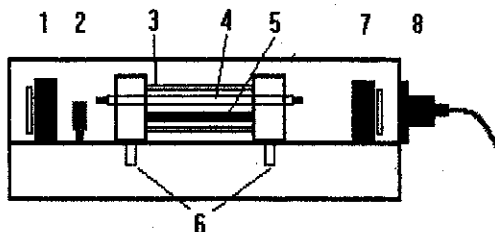


Figura 3.

La emisión de radiación láser, se logra bombeando el medio activo ( barra de Nd:YAG ) (5) con la luz que genera la lámpara flash (4). Ambas se colocan dentro de la cavity reflectora (3) para que el bombeo se produzca de la forma más

eficiente posible. Esta cavity se coloca dentro de un resonador formado por dos espejos dieléctricos paralelos. El espejo trasero tiene coeficiente de reflexión de 100 % y el delantero del 20 %. Entre el espejo trasero y la parte posterior del cabezal, se coloca el Q: Switch (2), dispositivo que permite la operación del láser en régimen de pulsos muy cortos de elevada potencia y que consiste en un cristal de YAG: Cr<sup>+3</sup> que funciona por el principio de absorbente saturable y no necesita de circuito electrónico alguno para su funcionamiento.

### Sistema de enfriamiento

Del total de energía entregada a la lámpara sólo alrededor del 1 % es transformada en radiación láser y el resto se disipa en forma de calor dentro del cabezal, originándose aquí la necesidad de disponer de un sistema de enfriamiento eficiente, capaz de estabilizar la temperatura de trabajo en 45 grados centígrados.

El sistema diseñado (Figura 4), hace circular por dentro de la cavity el líquido refrigerante, que consiste en una solución de agua destilada y dicromato de potasio que tiene la propiedad de absorber la radiación ultravioleta dañina para la barra y por lo tanto aumenta el tiempo de vida útil de esta última. Este líquido refrigerante pasa posteriormente a un radiador situado en la parte trasera del equipo en donde se le extrae el calor mediante dos ventiladores.

1. Recipiente con agua destilada y Dicromato de Potasio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>).
2. Cavity láser
3. Bomba de agua
4. Radiador
5. Ventiladores

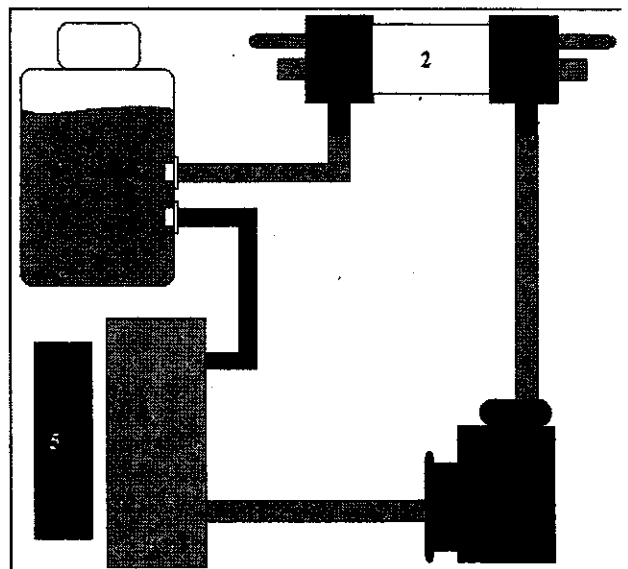


Figura 4.

## Módulo de suministro de energía

Su función es entregar la energía necesaria para la emisión de la radiación láser. Está formado por un transformador elevador (220V/860V) de 1.5 kW de potencia, una cuarteta rectificadora y el capacitor del láser de 100  $\mu$ F, 2 kV (Figura 5).

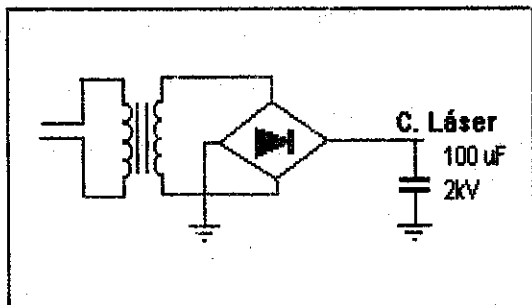


Figura 5.

Al ser energizado el equipo, el capacitor comenzará a cargarse, almacenando la energía que será entregada a la lámpara en el momento de disparo.

Módulo de alto voltaje (Figura 6):

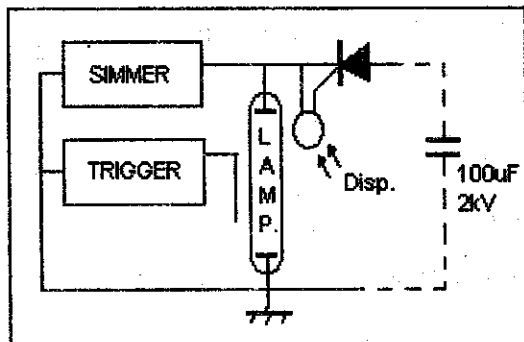


Figura 6.

Sus componentes fundamentales son:

**Circuito de TRIGGER:** Genera los pulsos de alto voltaje (15kV) que se aplican a la lámpara flash para que entre sus electrodos se produzca un salto capaz de ionizar el gas dentro de ella (Xenón), dejándola lista para la circulación de la corriente del SIMMER [5]

**Circuito de SIMMER:** Entrega una corriente estable (100 mA) que mantiene a la lámpara en estado de conducción y lista para aceptar la energía almacenada en el capacitor de 100  $\mu$ F / 2kV en el momento de disparo. Este circuito elimina la necesidad de generar un pulso de alto voltaje cada vez que se quiera producir un disparo del láser y por lo tanto contribuye a prolongar el tiempo de vida útil de la lámpara. Una vez establecida la circulación de corriente del SIMMER, se genera una señal óptica que es detectada por el módulo de control, para

que este a su vez, de la orden de interrumpir el funcionamiento del TRIGGER.

**Tiristor de descarga:** Este dispositivo funciona como un interruptor que se cierra cada vez que recibe desde el módulo de control la señal de disparo generada ópticamente. Cuando esto sucede, la energía almacenada en el capacitor de 100  $\mu$ F/2 kV, pasa a la lámpara y esta emite el destello que excita a la barra de Nd: YAG para obtener la radiación láser.

## Módulo de control

Controla y supervisa el funcionamiento correcto del PLC-Art, mediante la generación de las señales que se relacionan a continuación:

- |           |   |
|-----------|---|
| LISTO     | - Energiza el equipo y establece las condiciones iniciales de trabajo.                                      |
| DISPARO   | - Desencadena el mecanismo de disparo del láser a la frecuencia seleccionada.                               |
| APAGAR    | - Desenergiza el equipo.  |
| SIMMER OK | - Detecta si la lámpara está encendida, en caso de no estarlo, inhibe la generación de la señal de disparo. |

Cabe destacar que las señales que interactúan con el módulo de alto voltaje (DISPARO y SIMMER OK), lugar donde se generan las altas tensiones propias de la operación del láser, son ópticas, por lo que no existe ninguna vía de contacto eléctrico entre la electrónica de bajo voltaje asociada al módulo de control y la de alto voltaje.

El módulo de control soporta también la interfaz de comunicación serie que dota al equipo de gran versatilidad, pues permite la conexión del PLC-Art a una computadora personal, pasando a formar parte de un sistema automatizado de trabajo.

## SOLUCIONES NOVEDOSAS

Con el objetivo de reducir el costo de producción, disminuir el tamaño del equipo y al mismo tiempo mantener un nivel de prestaciones comparable al de los equipos que se encuentran en el mercado, fue necesario hacer modificaciones durante el proceso de diseño del PLC-Art, algunas de las cuales son ideas originales del colectivo de desarrollo. Entre ellas se destacan:

- La carga del capacitor del láser no es controlada mediante dispositivos electrónicos, sino que mediante un proceso cuidadoso de diseño y optimización de la inductancia intrínseca del devanado primario del transformador de fuerza, se elimina este dispositivo que usualmente es un

- tiristor con características muy especiales debido a los altos niveles de corriente y voltaje que debe soportar, lo cual encarecía notablemente el equipo.
- La radiación láser se obtiene a la salida mediante Q: Switch pasivo, dispositivo duradero, de bajo costo y manejo sencillo, que permite obtener pulsos de 12 ns . de duración y de 200 mJ de energía, (medidos con un osciloscopio digital TEKTRONIX, modelo TDS 210 y un medidor de energía láser modelo LM-03, respectivamente) óptimos para la aplicación en cuestión.
  - La cavidad reflectora, dispositivo óptico de elevado costo, se diseñó y construyó por especialistas del laboratorio, usando para ello un cilindro de vidrio Pyrex, de doble pared, relleno de polvo de Mg O, evitando así el costoso proceso de sintetizado.
  - La comunicación entre los módulos de control y de fuerza, se realiza mediante fibra óptica, eliminando la posibilidad de mal funcionamiento debido a ruidos eléctricos y garantizando a la vez máxima seguridad en la operación del equipo.
  - Se usa fibra óptica flexible como dispositivo de entrega de energía, lo cual hace más fácil y flexible el manejo del equipo.
  - El sistema de enfriamiento se diseñó y construyó "a la medida" debido a la imposibilidad de encontrar en el mercado, alguno que se pudiera adaptar a las dimensiones reducidas del equipo.
  - Todo el sistema se construye en un chasis de microcomputadora, con lo que se logra que el aspecto externo de una serie de equipos producidos, sea similar.

## CONCLUSIONES

Se diseñó, construyó y comercializó un equipo láser de Nd: YAG, para emplear en limpieza de obras de arte, en el que se incluyen un conjunto de soluciones novedosas a problemas ingenieriles. El equipo posee parámetros de emisión similares a sus análogos existentes en el mercado y a su vez, es más compacto y económico.

## REFERENCIAS

1. CHEUNG, T. (1988): **CRC Critical Review in Solid State and Material Science**, 15.
2. ASMUS, J. F. et al. (1973): **Studies in Conservation**, 18(2).
3. FOTAKIS, G. (1995): **Optics and Photonic News**, 6(30).
4. EMV- Labor Wetzikon AG, Ref. No: 971212084116, 1997.
5. LITTLECHILD, J. (1989): **High Performance Flash and Arc Lamps**, Book 1, 2<sup>nd</sup>. Ed.

# SISTEMA DE EXCITACION Y DETECCION DE FLUORESCENCIA

José A. Delgado Atencio, Suren Stolik Isakina, Sandra Fernández Yanes, Margarita Cunill Rodríguez, Arilene M. Pérez González y Lino E. Borroto Rivero,  
Centro de Desarrollo de Equipos e Instrumentos Científicos (CEDEIC)

## RESUMEN

En este trabajo se presenta un prototipo funcional de sistema de excitación y detección de fluorescencia desarrollado para la investigación de las propiedades fluorescentes de fármacos fotosensibilizadores utilizados para el diagnóstico de tumores. El uso de un LED azul de alto brillo como fuente de excitación y de fibras ópticas para la transmisión de la señal luminosa hasta el cabezal sensor hace que el sistema presentado sea sencillo y práctico. Se describe también una fuente de excitación que emplea una lámpara de arco de mercurio de 200 W y filtros ópticos para garantizar una composición espectral adecuada. El sistema de detección está compuesto por dos bloques fundamentales, un cabezal sensor de alta sensibilidad y una unidad de lectura y selección del modo de medición. El sistema por su diseño resulta versátil por lo que puede utilizarse para el estudio de otras sustancias fluorescentes no necesariamente pertenecientes a la investigación oncológica.

## ABSTRACT

A functional prototype system of excitation and detection of fluorescence was developed in order to do research of fluorescent properties of pharmacological products used in tumors diagnosis. A blue high intensity LED is used as exciting source and optic fiber for the transmission of the light signal which taken together produce a simple and practical system. Other sources as a mercury 200 W lamp and optical filters are also employed. Detection system is made of two fundamental blocks, which are described. We think the system might be used to study other kind of fluorescent substances.

## INTRODUCCION

La terapia fotodinámica es una técnica novedosa para el tratamiento de los tumores, que aprovecha la reacción fotoquímica inducida en un marcador fotosensibilizador al irradiarlo con la luz roja de densidad de potencia y longitud de onda específica [1, 2, 3, 4]. Los fármacos fotosensibilizadores utilizados tienen la propiedad de fluorescer cuando son excitados con luz violeta, esto unido a su retención selectiva por los tejidos neoplásicos brinda la posibilidad de diagnosticar lesiones premalignas mediante la fluorescencia inducida [5, 6]. El estudio de las propiedades fluorescentes de fármacos obtenidos nacionalmente, así como la necesidad de contar con una herramienta para la investigación de las propiedades fluorescentes de los tejidos neoplásicos motivó a que nuestro grupo de investigación desarrollara un prototipo funcional de sistema de excitación y detección de fluorescencia para realizar investigaciones preliminares en el campo de la oncología, especialmente en el diagnóstico de tumores por fluorescencia inducida.

## DESARROLLO

El sistema de excitación-detección que se presenta ha sido diseñado por módulos que tienen

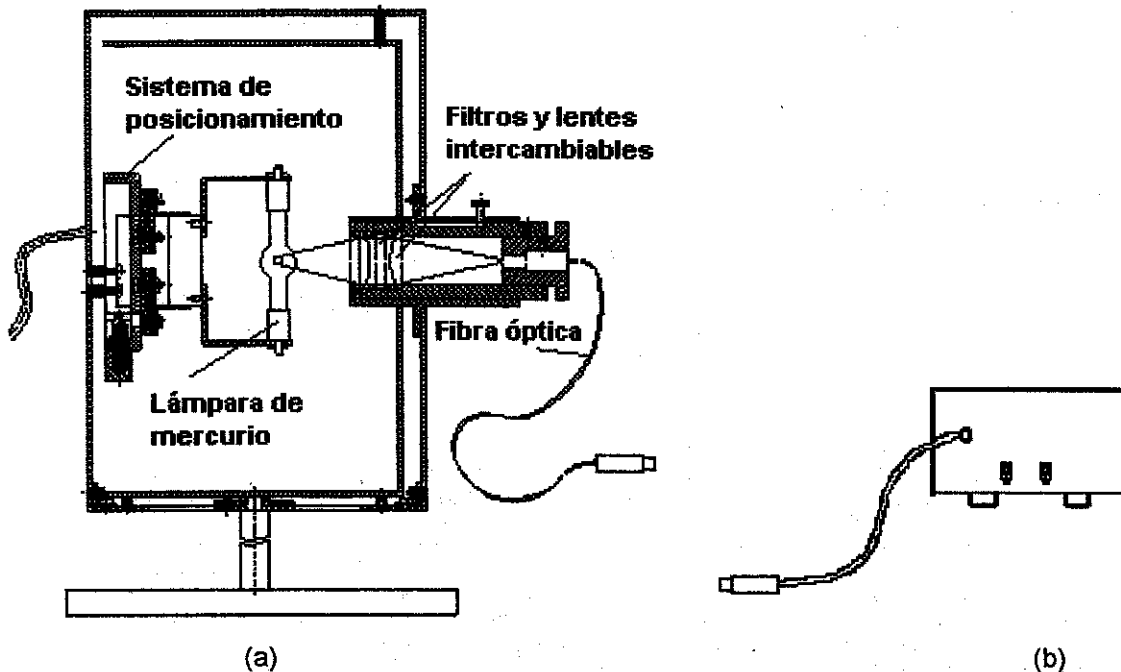
cierto grado de independencia en cuanto a su funcionalidad. Este sistema en esencia está constituido por las siguientes partes y aditamentos:

1. Fuente de excitación
2. Portamuestras
3. Sistema de detección y lectura
4. Filtros y fibras ópticas

A continuación se presenta una descripción general y se precisan las posibilidades de operación de cada una de estas partes:

### 1. La fuente de excitación:

Una de las dos variantes de fuente de excitación se muestra en la Figura 1 (a) donde la fuente de luz es una lámpara de arco de mercurio (HBO 200F) de 200 W de consumo eléctrico, que se coloca dentro de un mueble metálico con una salida para la radiación óptica. Este puerto óptico está diseñado para colocar una lente colimadora, un filtro óptico para la excitación y una segunda lente para enfocar la radiación sobre una fibra óptica. Esta lámpara se soporta en un mecanismo de posicionamiento cuyo accionamiento permite que la descarga de la lámpara de mercurio sea colineal con el eje óptico del sistema.



**Figura 1.** Fuentes para la excitación de fluorescencia.

(a) Lámpara de arco de mercurio.

(b) LED azul ultrabrillante.

El filtro óptico utilizado para la excitación es un filtro de color con una banda de transmisión centrada en 420 nm y un ancho de banda de 80 nm, la transmisión máxima es del 30 %.

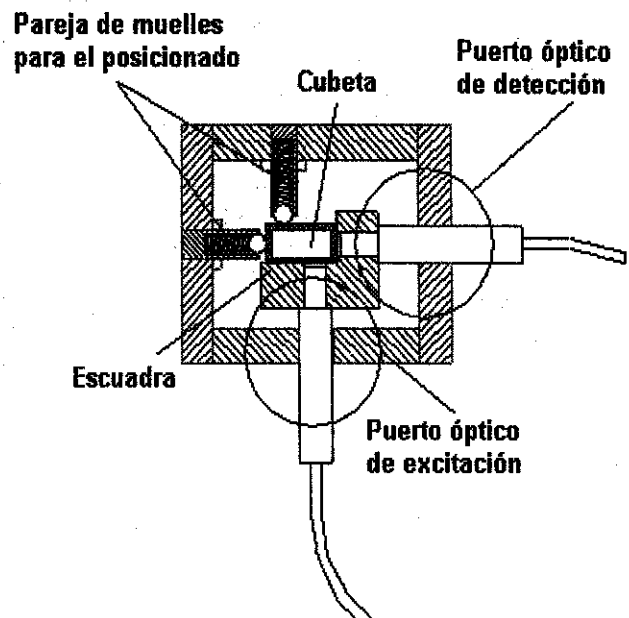
La segunda variante de fuente de excitación se presenta en la Figura 1 (b) y consiste en un LED azul de alto brillo, alimentado por una fuente de corriente variable de 0-20 mA, con una longitud de onda de máxima emisión alrededor de 450 nm y una intensidad luminosa de 1 000 mCd a 20 mA de corriente de alimentación. La potencia radiante para esta corriente es de 4 mW. El LED se encuentra en el interior de un casquillo que lo protege y garantiza el acoplamiento mecánico con el portamuestras.

## 2. El portamuestras:

Es un mueble cerrado que impide la entrada de la luz del medio ambiente a su interior para que no se falsee la medición, como se muestra en la Figura 2. Está diseñado para realizar la detección de la fluorescencia a  $90^\circ$  con respecto a la dirección de excitación y definiendo ambas direcciones (excitación-detección) un plano horizontal. La radiación para la excitación penetra al portamuestras a través de un puerto de entrada que admite o bien una fibra óptica que trae la radiación excitatriz desde la fuente con lámpara de arco, como se observa en la Figura 1 (a), o el casquillo metálico que contiene al LED azul.

Para garantizar la repetibilidad de las mediciones se ha diseñado un sistema de posicionado para la

cubeta basado en el uso de una escuadra metálica contra la cual se presiona la cubeta mediante dos parejas de muelles mutuamente perpendiculares. Estos muelles contienen como elemento de contacto con la cubeta una esfera metálica.



**Figura 2.** Vista superior del portamuestras, nótese que la detección se realiza a  $90^\circ$  de la dirección de excitación.

En el portamuestras existe el puerto de detección por donde se acopla una fibra óptica que lleva la señal de fluorescencia hasta el cabezal sensor.

Las dimensiones de la cubeta a emplear son las siguientes:  $24 \times 11 \times 40 \text{ mm}^3$  siendo 40 mm la altura de la cubeta y 11 mm la longitud total en la dirección de la excitación, de esta longitud 5 mm corresponden al espesor del líquido y los restantes 6 mm a las caras de la cubeta.

### 3. Sistema de detección y lectura:

Este sistema está compuesto por dos partes fundamentales: el cabezal de detección de alta sensibilidad y la unidad de lectura.

El cabezal de alta sensibilidad está diseñado sobre la base de un sistema de detección con fotodiodo preamplificado en modo fotovoltáico, como se muestra en la Figura 3. La transimpedancia  $R_f$  de este circuito se puede variar en el intervalo de  $10^3$  a  $10^9 \Omega$  por medio de un conmutador de posiciones. Todo el circuito de alta sensibilidad se encuentra contenido en un cabezal metálico cilíndrico que sirve de pantalla a las fuentes de ruido eléctrico y a las corrientes de aire. Además en este cabezal se pueden fijar filtros y fibras ópticas que garantizan la medición de la señal óptica deseada.

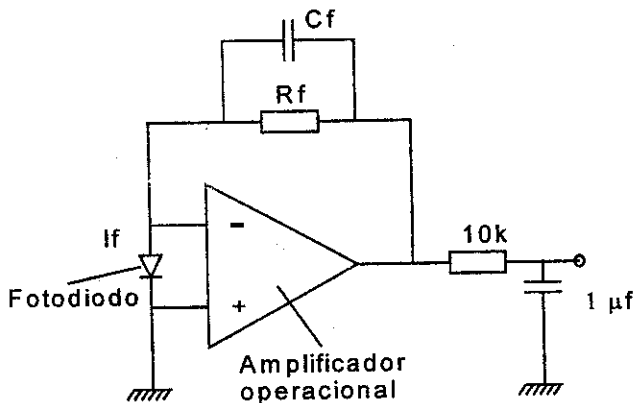


Figura 3. Esquema eléctrico básico del cabezal de alta sensibilidad.

La unidad de lectura muestra el valor de la señal eléctrica en un voltímetro digital de  $3\frac{1}{2}$  dígitos con fondo de escala de 200 mV. Esta unidad contiene otro cabezal sensor para tomar una referencia ya sea de la fuente de excitación o de otra señal conveniente.

El flujo radiante umbral del sistema de detección está en el orden de  $10^{-10}$ - $10^{-11} \text{ W}$ .

### 4. Filtros y fibras ópticas:

El sistema de detección cuenta con un juego de filtros pasa altos definidos por las siguientes longitudes de onda de corte: 400, 450, 500, 600, 700 y 850 nm.

Las fibras ópticas que forman parte del sistema de excitación y detección de fluorescencia son de 2 tipos, una de ellas es de cuarzo con un núcleo de  $1000 \mu\text{m}$  y cubierta de polímero (cuarzo-polímero) ésta preferiblemente se emplea para excitar cuando la fuente de luz es la lámpara de arco de mercurio. La otra fibra es plástica con un núcleo de 1 mm de diámetro, utilizada preferiblemente en el canal de detección.

### CONCLUSIONES

- El prototipo funcional construido se puede emplear como herramienta de trabajo en la investigación oncológica.
- Cada módulo que conforma a este prototipo puede utilizarse de forma independiente para su aplicación en otras investigaciones o en laboratorios de óptica.
- Este primer prototipo sirve de base para el desarrollo de un fluorómetro de propósito general para las investigaciones en laboratorios y centros especializados en la aplicación de esta técnica

### REFERENCIAS

1. PROFIO, A.E. (1984): "Laser excited Fluorescence of Hematoporphyrin Derivative for Diagnosis of cancer", *IEEE Journal of Quantum Electronic*, QE-20(12), December.
2. PROFIO, A.E. and D.R. DOIRON (1987): "Dose Measurements in Photodynamic Therapy of cancer", *Laser in Surgery and Medicine* 7, 1-5.
3. LAMS, S; J. HUNG and B. PALCIC (1990): "Detection of Lung Cancer by ratio fluorometry with and without photofrin II", *SPIE 1201, Optical Fibers in Medicine V*.
4. KATO, H. et al. (1990): "Photodynamic Diagnosis and Therapy in respiratory malignant tumors with and excimer dye Laser System", Presented at the symposium of the Spectroscopical Society of Japan, March.

6. MARX, B.R. (1999): "Endoscopic imaging detects cancer earlier." **Laser Focus World**, 35(2), 31-32.

7. DELGADO, J.A. (1996): "La fotodetección de alta sensibilidad en el diagnóstico de tumores por fluorescencia inducida"; Tesis de Maestría, Universidad de La Habana.