

Medidor de transmitancia para una línea espectral roja

S. Galindo y G. Gama

*Departamento de Física, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares,
Apartado postal 18-1027, Col. Escandón, Delegación Miguel Hidalgo, C.P. 11801.*

(Recibido el 17 de octubre 1989; aceptado el 1 de junio de 1990)

Resumen. Se describe el diseño y construcción de un instrumento para medir la transmitancia de luz a una longitud de onda de 632.8 nm en diversas muestras. Se presenta la aplicación particular del instrumento en la dosimetría del perspex rojo 4034.

PACS: 07.62.+s; 07.65.Eh; 29.30.Kv

1. Introducción

En el presente trabajo se describen el diseño y construcción de un instrumento para la medición de la transmitancia de luz de longitud de onda 632.8 nm.

La transmitancia T de un objeto se define como la razón entre la potencia radiante transmitida P por el objeto y la potencia incidente P_0 sobre el mismo:

$$T = \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

En otras palabras, la transmitancia es la fracción de radiación incidente transmitida por el objeto y se expresa a menudo en forma de porcentaje.

La Ec. (1) algunas veces no es directamente aplicable, ya que P y P_0 no pueden medirse fácilmente en el laboratorio, porque en ocasiones la muestra que se estudia debe mantenerse en alguna clase de recipiente. Debido a este hecho, es inevitable la interacción de la radiación con las paredes del contenedor produciéndose una pérdida de potencia en cada superficie de separación como consecuencia de reflexión o absorción. Además el haz puede sufrir una disminución de potencia durante su paso por la muestra, como resultado de dispersión por moléculas grandes o falta de homogeneidad.

Para corregir estos defectos se compara la potencia del haz que atraviesa la muestra con un recipiente idéntico que contenga el mismo disolvente de la muestra o bien algún sólido que sirva de referencia. Puede entonces medirse una transmitancia experimental que se aproxima mucho a la verdadera transmitancia de la siguiente

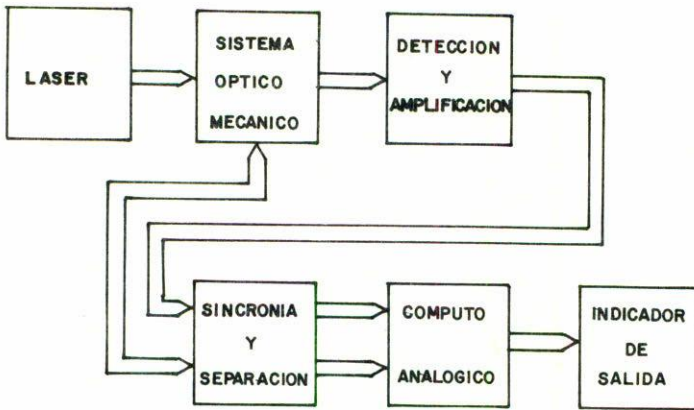


FIGURA 1. Diagrama a Bloques.

manera [1]

$$T = \frac{P_{\text{muestra}}}{P_{\text{referencia}}} \quad (2)$$

La aplicación particular para la que fué diseñado el instrumento descrito en este trabajo es en la medición de dosis de radiación. Para ésto se utilizan dosímetros que se “obscurcen” al ser irradiados, permitiendo en consecuencia un menor paso de luz a través de ellos, en otras palabras; presentan un cambio en su transmitancia, mismo que al medirse permite la determinación de la dosis recibida [2]. El dosímetro de mayor uso es el conocido como el de acrílico rojo (perspex rojo 4034 o PMMA coloreado) [3]. La medición de la transmitancia para el material mencionado se realiza a 640 nm en un espectrofotómetro convencional de preferencia de doble haz. Las mediciones se realizan a dicha longitud de onda por razones ampliamente discutidas en la literatura [3].

El objetivo de este trabajo consiste en substituir el espectrofotómetro por un sistema barato y preciso que cubra las necesidades de la ya mencionada aplicación particular.

2. Diseño general

Los bloques mostrados en la Fig 1 representan los elementos funcionales del arreglo, la descripción de cada uno de éstos y las razones para la elección de su configuración respectiva se dan a continuación:

a) *Fuente de luz*: El emisor es un tubo laser de Helio-Neón de 0.5 mW que emite en una longitud de onda de 632.8 nm con lo que se asegura una fuente de luz

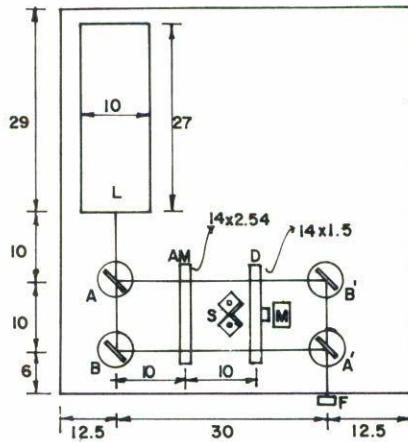


FIGURA 2. Sistema óptico-mecánico. A A' espejos semiplataados, B B' espejos de cara frontal, M motor del disco modulador, D disco modulador, F fotodetector, S sistema de sincronía (par de emisores y detectores infrarrojos), L láser, AM área de muestra y referencia. (Cotas en cm).

monocromática y de gran intensidad, además de que dicha longitud de onda esta muy cercana a 640 nm. En esta última como ya se mencionó, es donde se realizan las mediciones con el espectrofotómetro en la dosimetría del Perspex rojo.

b) *Sistema óptico-mecánico*: Este separa y modula la luz del rayo láser. Consiste de un arreglo de espejos plateados parcialmente a un 50% y de cara frontal colocados en las posiciones indicadas en la Fig. 2, con lo que se separa al rayo en dos partes, volviendolos paralelos para hacerlos incidir sobre la muestra y la referencia donde a continuación chocan con un disco modulador. Este deja pasar alternativamente uno de los dos rayos a la vez. El par de rayos modulados o muestreados siguen el camino indicado en la Fig. 2 para completar una misma trayectoria óptica y así tener la misma intensidad, cuando la última parte del arreglo óptico haga llegar la información a un sólo punto donde se coloca un fotodetector.

El disco modulador, movido por un motor eléctrico de 2400 rpm, esta diseñado de tal manera que por cada vuelta, los haces paralelos de luz pasan seis veces a través de él, tres para cada haz, por lo que la frecuencia de muestreo se triplica, siendo de 120 Hz. Cabe señalar que las frecuencias recomendadas en la literatura para este tipo de moduladores mecánicos se encuentra en el intervalo de 60 a 400 Hz [4].

Al hacer el diseño del disco también se pensó en la ubicación de seis superficies reflejantes arriba y abajo de cada una de las ranuras, que con ayuda de un arreglo óptico infrarrojo proporcionan la señal de sincronía para separar la información en la etapa correspondiente (ver Fig. 3).

c) *Detector y Amplificador*: (Ver diagrama general Fig. 4 y Tabla 1). El detector consiste en un circuito convencional [5] basado en el fototransistor MRD160 con una respuesta espectral del 50% en la región de 632.8 nm. El diseño trabaja en la

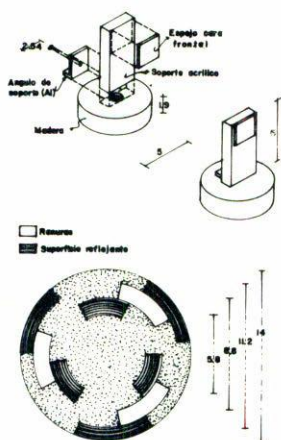


FIGURA 3. Disco modulador. Salvo las ranuras y las seis superficies reflejantes el resto del disco está cubierto de pintura negra la cual absorbe al infrarrojo. (Cotas en cm).

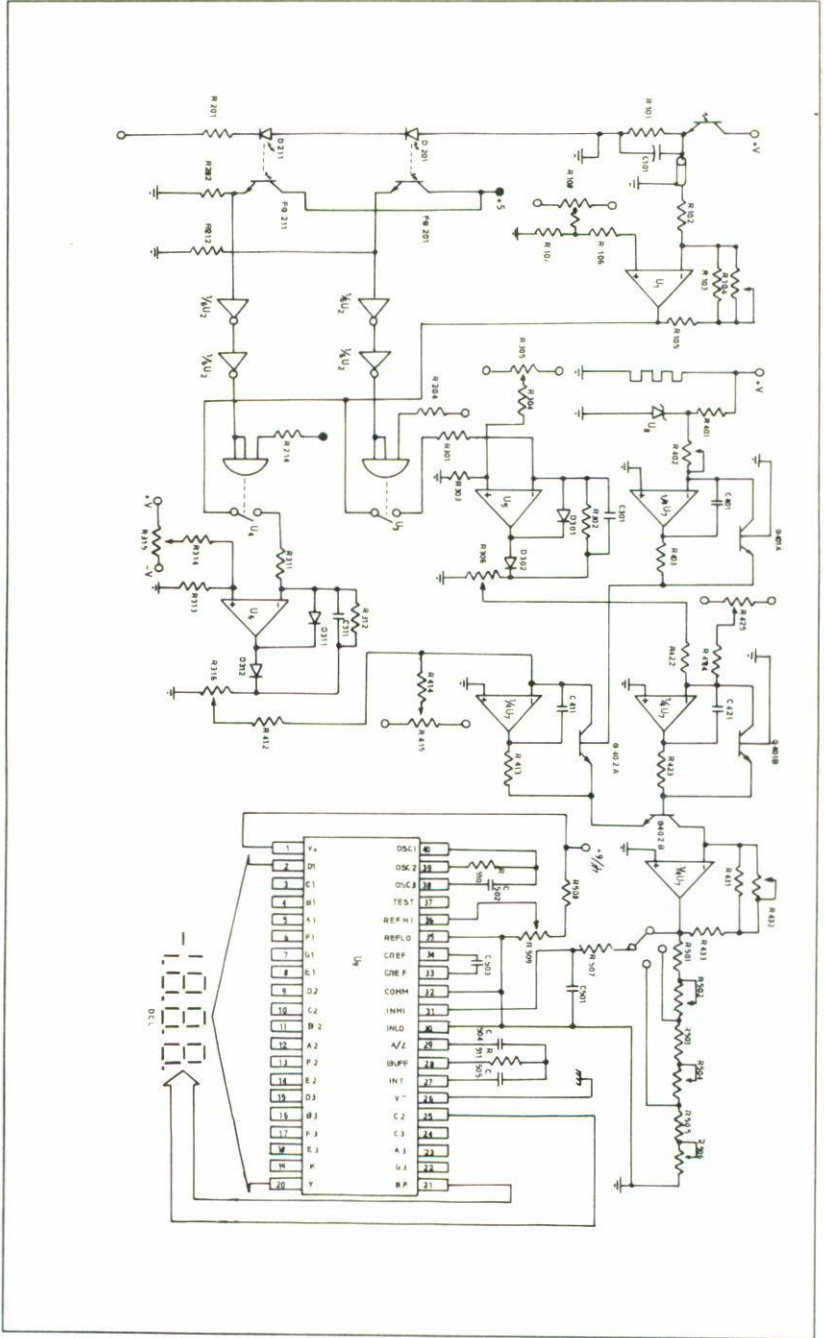
región lineal activa en la cual las variaciones de intensidad luminosa se convierten en niveles de tensión eléctrica los cuales se amplifican con el operacional LM 308 en configuración de inversor [6]. Como se puede inferir, la salida de este arreglo es un muestreo en el que dos informaciones (muestra y referencia) comparten el tiempo que les asigna el disco modulador.

d) *Sincronía mecánica-electrónica y separación de información*: Los espectrómetros comerciales de doble haz utilizan detectores sensitivos a la fase para lograr la separación y sincronía de la información de las señales de la muestra y de la referencia. La innovación del presente trabajo consiste en lograr estas funciones por medio de un sistema de emisores y receptores infrarrojos colocados frente a las ya mencionadas superficies reflejantes del disco modulador (Fig. 3), como se explicará a continuación.

Para poder explicar la novedad de este trabajo, recordemos que la salida amplificada del detector de luz consiste en dos niveles de una señal compartida en el tiempo como en un multiplexor; esto se debe al diseño del ranurado en el disco modulador, que como ya se mencionó, deja pasar alternativamente la señal correspondiente a la muestra (N_1 de la Fig. 5(A)) y a la referencia (N_2 de la Fig. 5(A)). Las figuras 5(B) y 5(C) ilustran las señales necesarias de sincronía para separar adecuadamente la información. En dichas figuras los niveles S_1 y S_2 se utilizan para separar los correspondientes N_1 y N_2 , que son los respectivos pasos de luz a través de la muestra y la referencia.

Las señales S_1 y S_2 se obtienen haciendo incidir la luz de un emisor infrarrojo (TIL 31) en un segmento reflejante del disco modulador giratorio. El reflejo es captado entonces por un fototransistor (TIL 81) en cual trabaja en la misma región del espectro infrarrojo (940 nm) [7]. Dicho reflejo variará alternativamente dependiendo de si la salida del emisor "rebota" en un segmento reflejante o es absorbida

FIGURA 4. Diagrama general. La lista de las componentes está dada en la Tabla I.



Resistores [en ohms]			
Clave	Descripción	Clave	Descripción
R101	470	R306	10 k (pot)
R102	100 k	R316	10 k (pot)
R103	10 M	R401	33 k
R104	2.7 M	R402	69.5 k
R105	100 k	R403	560
R106	10 k	R412	100 k
R107	100	R413	330
R108	100 k	R414	10 k
R201	270 2W	R415	100 k (pot)
R202	1 k	R422	100 k (pot)
R204	1 k	R423	560
R301	15 k	R424	10 k
R302	150 k	R425	100 k (pot)
R303	13.6 k	R431	2.7 M
R304	10 k	R432	100 k (pot)
R305	100 k (pot)	R433	5 k
R311	15 k	R501	82 k
R312	150 k	R502	20 k (pot)
R313	13,6 k	R503	820 k
R314	10 k	R504	200 k (pot)
R315	100 k (pot)	R505	8.2 M
R506	2 M (pot)	R507	1 M
R508	24 k	R509	1k
R510	100 k		
Capacitores			
C101	0.1 μ F	c201	100 pF
C302	1 μ F	C303	100 pF
C312	1 μ F	C313	100 pF
C401	570 pF	C411	1000 pF
C421	570 pF	C501	0.01 μ F
C502	100 pF	C503	0.1 μ F
C504	0.47 μ F	C505	0.22 μ F
Semiconductores			
U1	LM308	U2	DM7414
U3	TL 610	U4	TL 610
U5	LM308	U6	LM308
U7	LM324	U8	LM399H
U9	ICL7106	D201	TIL 31
D211	TIL 31	D301	1 N914
D311	1N914	FQ101	MRD150
FQ201	TIL 81	FQ211	TI1 81
Q401	LM394	Q402	LM394
DCL	exhibidor de cristal líquido		

TABLA 1. Lista de componentes utilizados en el circuito.

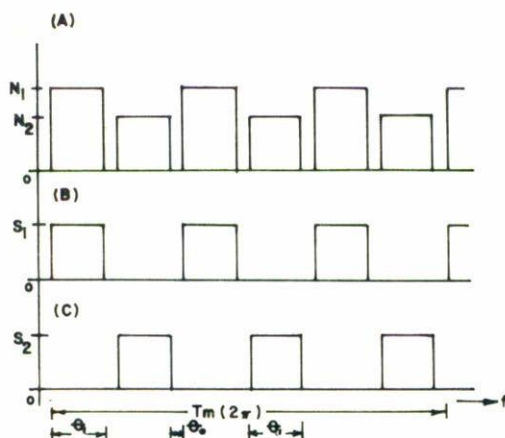


FIGURA 5. Señales de sincronía. Las señales N_1 y N_2 corresponden a la muestra y a la referencia respectivamente a la salida del amplificador del fotodetector. Los niveles S_1 y S_2 son niveles TTL a la salida del disparador Schmitt. Los umbrales y duración de las señales están dados por la geometría de las ranuras y superficies reflejantes del disco modulador.

por un segmento obscuro del disco. Segmentos reflejantes u oscuros se colocan de manera adecuada en el disco para lograr sincronía (Fig. 3). El dispositivo infrarrojo comprende dos pares emisor-detector, para cada una de las dos señales de sincronía S_1 y S_2 . La Fig. 6 ilustra la colocación de los pares. Las salidas de los detectores están conectadas a circuitos con disparadores Schmitt en los que se obtienen niveles TTL de salida (Fig. 7).

Una vez obtenidas las señales de sincronía, la separación se logra con un par de interruptores analógicos (TL 610), que trabajan con niveles de control de 5 voltios por medio de una compuerta "Y" TTL de tres entradas (Fig. 7). El acoplamiento entre los circuitos 7414 y TL610 es directo, debido a que la entrada de control de éste último es compatible con los niveles de salida del disparador Schmitt.

Los valores pico obtenidos de cada una de las dos señales separadas, corresponden en forma directa a la intensidad de cada parte del rayo que atraviesa la muestra así como la referencia. Ahora bien, las dos señales separadas son ondas periódicas cuadradas por lo cuál se utiliza un rectificador de precisión (Fig. 4, basado en el operacional LM308) [8], con objeto de obtener únicamente un nivel de corriente continua proporcional al valor pico.

e) *Cómputo analógico*: Consiste en obtener la división entre las dos señales separadas N_1 y N_2 ya rectificadas, para tener como resultado el cociente que será la transmitancia comparativa entre la muestra y la referencia.

Se utilizó un divisor convencional [9] a base del amplificador operacional cuádruple LM324 combinado con un doble par de transistores LM394 (NS) (Fig. 4).

f) *Indicador de salida*: Se realiza a partir de un convertidor analógico digital del tipo de doble pendiente de integración; contenido éste en un circuito integrado

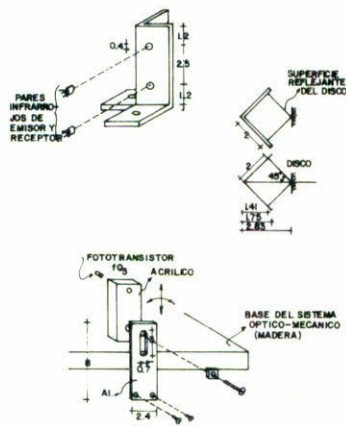


FIGURA 6. Arreglo de los pares infrarrojos emisor-detector. (Cotas en cm).

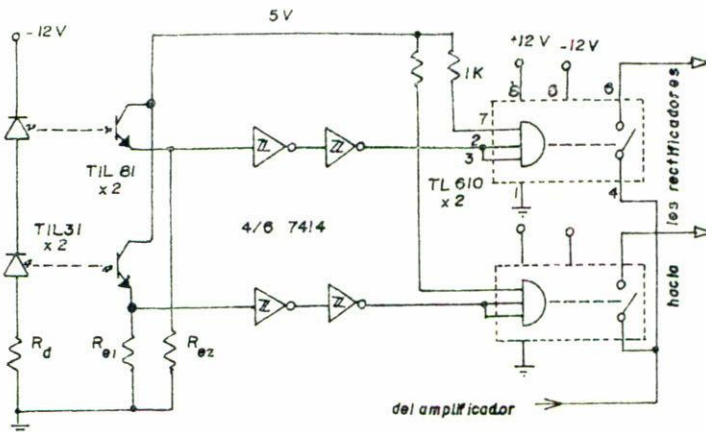


FIGURA 7. Sistema de sincronía y separación.

de la marca Intersil ICL7106 (Fig. 4), el cual agrupa todos los circuitos activos para un medidor de 3.5 dígitos. Además de un convertidor de doble pendiente de precisión, contiene decodificadores de código BCD a siete segmentos, excitadores del exhibidor, reloj o base de tiempo y una referencia. Para construir el voltímetro solo se necesita agregar el exhibidor, cuatro resistencias, cuatro condensadores y un filtro de entrada [10]. El voltímetro muestra los niveles que entrega el divisor analógico en una pantalla de cristal líquido. Dicha lectura como se mencionó antes, corresponde a mediciones directas del cociente de intensidades, es decir, de la transmitancia.

Dosis	Espectrofotómetro	Instrumento	Diferencia
Mrad	transmitancia %	transmitancia %	[%]
4.5	13	13.2	1.5
4.2	16	16.2	1.25
2.48	21.8	21.4	1.83
1.05	46	45.2	1.74
0.49	64	63.5	0.8
0.46	71	70.0	1.4
promedio porcentual de la diferencia de lecturas			1.4

TABLA 2. Lecturas.

3. Resultados

Con el fin de determinar la precisión del instrumento aquí descrito se efectuaron lecturas de transmitancia en un lote de seis dosímetros irradiados a varias dosis y las lecturas se compararon con las hechas en un espectrofotómetro Spectronic 20 de Bausch & Lomb [11], ajustado previamente a un 100% de transmitancia con un dosímetro sin irradiar y aproximando la longitud de onda a 632.8 nm que corresponde a la longitud de onda de emisión del laser.

Las lecturas obtenidas se muestran en la Tabla 2, donde se puede observar la diferencia entre la lectura del equipo comercial con la del aquí presentado. Calculamos la diferencia porcentual entre ambas de la siguiente manera:

$$\text{diferencia \%} = \frac{\text{lectura espectrofotómetro} - \text{lectura instrumento}}{\text{lectura espectrofotómetro}}$$

De estos resultados obtenemos un error promedio del instrumento con respecto al espectrofotómetro de 1.4%. Esta pequeña diferencia no es crítica para la aplicación particular en la dosimetría del perspex rojo en donde la precisión de los dosímetros es del orden de $\pm 5\%$ [3].

4. Conclusiones

Los principios en que se basa el instrumento aquí presentado se tomaron de equipos de doble haz como los espectrofotómetros. El principio de doble haz es muy común, pero en otros equipos la recuperación de las señales (la correspondiente a la de la muestra y la de la referencia) se lleva a cabo por medio de un detector amplificador sensitivo de fase (lock in). En el instrumento descrito en este trabajo el sistema de separación de señales se hace directamente a través de espejos del mismo disco modulador y trayectorias de infrarrojo con dispositivos optoelectrónicos compactos, ésta es en esencia la diferencia fundamental con respecto a equipos comerciales.

El sistema funciona como medidor de transmitancia en la región del rojo, operación que se comprueba al compararlo con un espectrofotómetro de uso convencional.

Las ventajas encontradas al equipo son:

- a) La parte electrónica de la construcción utiliza componentes comerciales comunes.
- b) El equipo es compacto y puede modificarse para hacerse portátil para trabajo de campo.
- c) El equipo puede sustituir satisfactoriamente a un espectrofotómetro comercial en la medición de transmitancia comparativa de dos muestras en el rojo (632.8 nm) con una aplicación directa como lector de dosímetros de acrílico rojo perspex 4034.

Referencias

1. Joseph Nathan P., *Análisis ópticos*, ANUIES. (1975).
2. Barret J.H., *Int. J. Appl. Radiat. Isot.* **33** (1982) 1177.
3. Glover K.M., King M. and Watts M.F., "Calibration and intercomparison of red 4043 perspex dosimeters". IAEA.SM.272/6 (1976).
4. Doeblin E.O., *Measurement Systems*, Mc Graw Hill, (1975).
5. Motorola Inc., *Optoelectronics* (1986).
6. National Semiconductor, *Linear Databook* (1988).
7. Texas Instruments Inc., *The Optoelectronics Databook* (1978).
8. Stout D.F., *Handbook of Operational Amplifier Circuit Design*, Mc Graw Hill, (1976).
9. Wong Y.J. and Ott W.E., *Function Circuits Design and Applications*, Mc Graw Hill (1976).
10. Intersil, Manual (1982).
11. Baush & Lomb, *Spectronic 20 Spectrophotometer* (1982).

Abstract. The design and construction of an instrument for measuring light transmittance on various samples at a 632.8 nm wavelength is described. The particular application of the instrument to red perspex 4034 dosimetry is presented.