

UNIVERSIDAD CARLOS III DE MADRID



Manual de Prácticas

Práctica 1

Dispositivos y Medios de Transmisión Ópticos

Fecha: 06/03/12
Autores: Juan Carlos Torres Zafrá
David Sánchez Montero
Carmen Vázquez García
Salvador Vargas Elías
José Manuel Sánchez Pena
Pedro Contreras Lallana

**ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR
DEPARTAMENTO DE
TECNOLOGÍA ELECTRÓNICA**





1. PRÁCTICA 1. CARACTERIZACIÓN DE EMISOR Y RECEPTOR. MEDIDA DE PARÁMETROS DE FIBRAS ÓPTICAS DE PLÁSTICO

1.1 INTRODUCCIÓN

En esta práctica se pretende que el alumno se familiarice con el manejo de fibras ópticas en el laboratorio, a la vez que tendrá la oportunidad de medir dos de los parámetros más comunes que caracterizan a las mismas.

En primer lugar se realizará una caracterización de las pérdidas que presenta una fibra óptica en la transmisión. A continuación se medirá el parámetro característico de apertura numérica. Previamente a estas medidas se caracterizará el LED emisor utilizado en esta sesión de prácticas.

1.2 MANIPULACIÓN DE LA FIBRA ÓPTICA EN EL LABORATORIO

Aunque el tipo de fibra óptica más empleado en comunicaciones es la fibra monomodo en las ventanas que minimizan dispersión y pérdidas, en el laboratorio utilizaremos fundamentalmente fibra multimodo y dentro de éstas, un tipo especial de fibra que es la fibra óptica de plástico (en inglés Plastic Optical Fiber, POF). Los emisores utilizados en las sesiones de prácticas operarán con longitudes de onda en el espectro visible. De este modo, se posibilita que el alumno realice los montajes de forma más sencilla, evitando los inconvenientes que el alineamiento en el infrarrojo pudiera acarrear.

La fibra óptica que vamos a utilizar es fibra óptica de plástico de salto de índice (intrínsecamente multimodo) para 630-700 nm (rango de longitudes de onda a utilizar). Sus dimensiones son $980 \pm 5 \mu\text{m}$ de diámetro del núcleo (core) y $1000 \pm 6 \mu\text{m}$ de la cubierta (cladding). Además posee un revestimiento externo (jacket) de dimensiones $2200 \pm 7 \mu\text{m}$. Los parámetros característicos de la fibra son (ver hoja de catálogo) apertura numérica 0.470, atenuación 0.22 dB/m @ 660 nm y retardo de propagación de 5 ns/m.

La fibra óptica requiere ser manipulada previamente a la realización de toda medida. Esto lo que significa es que las terminaciones de la fibra que utilizaremos como entrada y salida de la luz deben ser preparadas adecuadamente, bien para utilizarlas con acoplamiento directo, típico de montajes de laboratorio (es nuestro caso), bien para conectorizarlas que es el caso más general. En nuestro caso, una de las ventajas de la fibra óptica de plástico radica en su fácil manipulación así como la posibilidad de realizar una inspección visual de los extremos de la misma gracias al gran tamaño de su núcleo.

No obstante, debido a que sólo se disponen dos sesiones de laboratorio, **el pulido de ambos extremos de la fibra tras el corte de la misma (requisito indispensable en cualquier tipo de instalación óptica de comunicaciones) no se va a realizar** aunque tenga en cuenta que esto puede llevar a una mayor estimación de las pérdidas en la fibra respecto del valor real que pudiera tener debiendo de estar, en todo caso, esta estimación dentro del mismo orden de magnitud. **Sin embargo, usted sí que puede realizar una inspección visual del extremo de la misma tras el corte (la herramienta de corte se le proporcionará en el laboratorio), comprobando que no se hayan producido “muescas o imperfecciones” importantes en el núcleo de la fibra cuando haya realizado el corte de la misma.**

1.3 MANIPULACIÓN DE LA FUENTE EMISORA DE LUZ

La fuente emisora de luz que se va a utilizar para la realización de las prácticas es un LED (Light Emitting Diode) frente a otros tipos de fuentes ópticas como puedan ser los diodos LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) o los VCSEL (Vertical-Cavity Surface-Emitting

Lasers). Estas fuentes LED, aunque de menores prestaciones que otros tipos de fuentes ópticas, poseen la gran ventaja de ser extremadamente baratas respecto de las anteriores.

En concreto, el LED que se va a utilizar en las prácticas opera a 650nm de longitud de onda (espectro visible) siendo el modelo **IF-E96** de Industrial Fiber Optics (véase la hoja de catálogo),

Debe tenerse presente a lo largo de la realización de estas prácticas, que se va a utilizar un dispositivo LED real, capaz de emitir una potencia máxima (ver hoja de catálogo) en el rojo visible y por tanto peligroso en caso de ser utilizado inadecuadamente. Por su propia seguridad y la de sus compañeros, los alumnos deberán respetar escrupulosamente las normas elementales de seguridad que se indican a continuación:

- *Nunca mire directamente a la ventana del láser cuando esté conectado a algún circuito, para observar el haz de luz emitido por el láser hágalo incidir sobre un papel blanco.*
- *Antes de encender el láser asegúrese de que el haz va a incidir en una zona conocida y controlada.*
- *Tenga cuidado para no interceptar el haz emitido por el láser con pulseras, anillos, relojes, u otras superficies pulimentadas que podrían producir reflexiones incontroladas del mismo.*

1.4 CARACTERIZACION DEL EMISOR Y DEL RECEPTOR

NOTA IMPORTANTE: tanto el circuito emisor dado por la Figura 1 como el circuito receptor dado por la Figura 2 serán igualmente utilizados en la Práctica 3 de esta asignatura. Por tanto, se recomienda que dichos circuitos no los desmonte al finalizar esta práctica. **Podrá usarlos para la Práctica 3 si lo desea.**

En este apartado se va a caracterizar tanto el circuito emisor como el circuito receptor. El circuito que usted deberá montar para la parte del emisor (LED) se muestra en la siguiente figura (Figura 1) y constituye el circuito-*driver* de polarización del LED. Como puede comprobar, además de la polarización en DC del LED, una señal analógica (senoidal, por ejemplo) externa se puede aplicar a través de la entrada ANALOG_IN. Esta señal externa se podría conectar a través del condensador C5 actuando éste como bloqueo de componentes de continua procedentes de dicha entrada. Sin embargo usted no utilizará esta entrada para esta práctica aunque se utilizará en una práctica posterior.

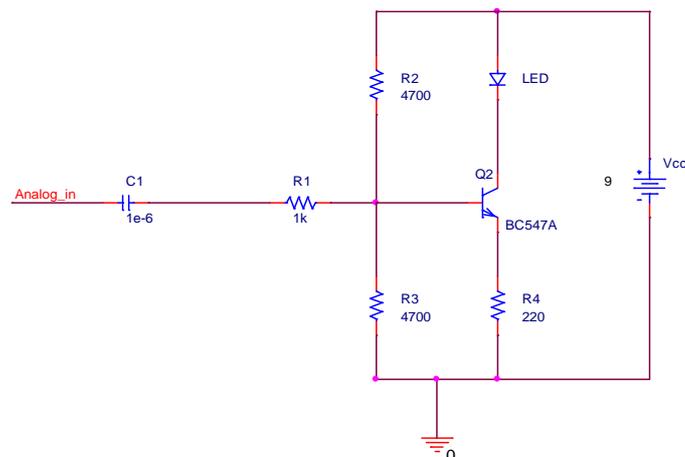


Figura 1.- Circuito emisor con el LED IF-E96

Previamente a la realización de las medidas usted deberá tener claras las siguientes cuestiones, que le ayudarán a comprender mejor cómo funcionan los circuitos a montar y que ya debió resolver en el cuestionario teórico propuesto con anterioridad..

- a) Monte el circuito de la Figura 1. Realice el montaje de manera clara y ordenada pues hay que realizar varias medidas a lo largo de la sesión y el desorden puede llevar a algún mal contacto y a la destrucción del dispositivo LED. **Tenga especial cuidado con la polaridad de los terminales del LED y cómo ha de conectarlos según la Figura 1.**

En la siguiente figura (Figura 2) se muestra el circuito receptor que usted deberá montar. Como puede comprobar consta de dos elementos: un fotodiodo (modelo IF-D91 de Industrial Fiber Optics) y una resistencia de carga. Esta última permite realizar una conversión eléctrica de corriente a voltaje (conversión I-V).

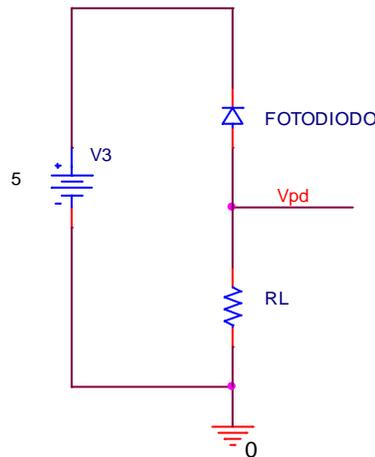


Figura 2.- Esquema del receptor con el fotodiodo IF-D91

- b) Monte el circuito de la Figura 2. Realice el montaje de manera clara y ordenada pues hay que realizar varias medidas a lo largo de la sesión y el desorden puede llevar a algún mal contacto y a la destrucción del fotodiodo. **Tenga especial cuidado con la polaridad de los terminales del fotodiodo y cómo ha de conectarlos según la Figura 2.**

Cuando la energía luminosa emitida por el emisor (LED) alcanza el receptor, esta energía se convierte en energía o corriente eléctrica mediante el fotodiodo, conteniendo el mismo patrón de información (modulación) que se emitió desde el emisor, es decir, si modulamos el LED con un nivel de continua la señal generada por el fotodiodo será continua, si modulamos el LED con una señal senoidal la señal generada por el fotodiodo tendrá forma de seno, etc. Por otra parte, la función de la resistencia de carga R_L en el receptor es la de realizar la conversión de intensidad eléctrica a tensión eléctrica, puesto que ésta es una magnitud más fácil de medir en cualquier circuito electrónico.

Todos los receptores analógicos de fibra óptica (generalmente fotodiodos) realizan esta función pero incluyendo, además, una electrónica de acondicionamiento formada principalmente por un circuito amplificador mediante el cual la señal eléctrica generada por el fotodiodo se amplifica y un buffer o circuito de transimpedancia que aisle al fotodiodo y al amplificador de cualquier carga que puedan generarse en etapas posteriores y afecte a su funcionamiento. En esta práctica usted no va a tener que implementar tanto la etapa amplificadora como la etapa de transimpedancia,.

Sin embargo, esta relación potencia óptica- intensidad eléctrica en el fotodiodo no se produce a coste cero, es decir, toda la potencia óptica que llega al fotodiodo no se transforma en corriente eléctrica sino que existe un rendimiento en dicha conversión. Uno de los parámetros más importantes de los receptores ópticos hace referencia a este rendimiento de conversión y se denomina **responsividad (S)**, parámetro que depende fundamentalmente de la longitud de onda de operación.

A partir de las hojas de catálogo del IF-D91 tenga en cuenta la responsividad del fotodiodo que va a utilizar a la longitud de onda de operación en las sesiones de prácticas y que, como se ha comentado anteriormente, es de 660nm.



A continuación se van a realizar algunas medidas sobre el circuito emisor y receptor. Intente relacionar en la memoria final lo esperado teóricamente, que previamente ha analizado en el cuestionario teórico, con las medidas que a continuación va a realizar.

- c) Conecte la fuente de alimentación $V_{cc}=9V$ en el circuito emisor y $V_{cc}=5V$ en el circuito receptor y mida los parámetros de polarización del circuito-driver del emisor (tensiones en las resistencias y terminales del transistor) para determinar el punto de polarización del circuito. Compruebe los valores medidos con los obtenidos teóricamente en el cuestionario teórico previo.

Corte un tramo de fibra óptica de plástico de aprox. 10cm del tramo de aproximadamente dos metros de POF que se le proporcionará al iniciar la sesión 1 correspondiente a esta práctica. Inspeccione visualmente que ha realizado un corte sobre la fibra en ambos extremos sin imperfecciones significativas. Conecte el tramo de fibra entre el LED del emisor y el fotodiodo del receptor.

- d) Variando la V_{cc} del circuito emisor entre 0 y 15V en pasos de 1,5V, rellene una tabla similar a la mostrada a continuación: (Nota: únicamente deberá medir V_e y V_{pd} , el resto de los parámetros propuestos puede y debe deducirlos a partir de ambos valores).

$V_{cc}(V)$	$V_e(V)$	$I_e(mA)$	$V_{pd}(V)$	$I_{pd} (\mu A)$	$P_{out} (PD) (\mu W)$	$P_{out} (PD) (dBm)$

donde:

- **V_e** : tensión que cae en la resistencia de emisor del transistor 2N3904.
 - **I_e** : corriente que circula por la resistencia de emisor. (Nota: cuando el LED comience a lucir puede suponer que Q está en activa $\rightarrow I_e \approx I_c = I_f$ (corriente que circula por el LED)).
 - **V_{pd}** : tensión que cae en la resistencia de carga del circuito receptor.
 - **I_{pd}** : corriente que circula en la resistencia de carga del circuito receptor. Puede establecer la identidad entre esta corriente y la que circula por el fotodiodo como consecuencia de la llegada de potencia óptica.
 - **$P_{out} (PD)$: potencia óptica** recibida en el fotodiodo. Nota: al utilizar un tramo tan corto de fibra óptica puede suponer que esta potencia recibida es igual a la potencia emitida por el LED, es decir, se consideran despreciables la atenuación propia del tramo de fibra así como las pérdidas por conectar dicha fibra en el emisor y en el receptor.
- e) A partir de los datos obtenidos en la tabla anterior represente la curva Potencia Óptica-Intensidad Eléctrica del dispositivo LED. Indique sobre la gráfica el punto correspondiente a $V_{cc}=9V$ pues el circuito emisor trabajará con esta tensión de alimentación. Compárela con la curva mostrada en la hoja de características del LED proporcionada por el fabricante.

Una vez llegados a este punto, alternativamente puede utilizar otro equipo medidor de potencia óptica (RIFOCS) para realizar las mismas medidas de la tabla anterior. Este equipo permite la medida directa de la potencia óptica (tanto en W como en dBm) para diferentes longitudes de onda seleccionables. Para ello basta con enfrenar la fibra óptica de plástico a su "cabecera" donde también se encuentra un fotodetector (en este caso de área ancha).

- f) Si se encuentra interesado en medir potencia óptica con este tipo de equipos llame, en este punto, a su profesor de laboratorio y éste le proporcionará un medidor de este tipo. Desconecte el terminal de la fibra acoplado al fotodiodo sin desconectar la fibra del LED. A continuación enfrente la fibra con el fotodetector incorporado a este equipo. Para asegurar una medida más estable, pele parcialmente el extremo final de la fibra y utilice el adaptador del medidor de potencia donde encaja la fibra POF sin la cubierta negra. Tome varias medidas a 3 ó 4 valores arbitrarios de V_{cc} (por ejemplo a 0V (luz ambiental), 5V, 10V y 15V). Compare los valores obtenidos con los valores de P_{out} obtenidos en la tabla anterior:

- ¿Son similares?
- ¿Existe mucha variación entre $P_{out}(PD)$ y $P_{out}(RIFOCS)$ a 0V? ¿A qué puede ser debido?

Quite el tramo de 10cm de fibra óptica de plástico entre el emisor y el detector. A partir de este punto trabajará con el tramo restante de entre aproximadamente 1-2 metros de fibra. Seleccione en la fuente de tensión una $V_{cc}=9V$.

1.5 MEDIDA DE LA APERTURA NUMÉRICA (AN)

La apertura numérica (AN) es un parámetro fundamental a la hora de trabajar con fibras ópticas pues nos indica la facilidad y la eficiencia con la que vamos a acoplar luz a dicha fibra. Es de resaltar que si bien en las fibras de salto de índice la apertura numérica es fácilmente explicable y entendida, en fibras de índice gradual este concepto no está tan claro, dependiendo la misma del tipo de iluminación que se emplee. De todas maneras al ser nuestra fibra de salto de índice no tendremos ningún problema en repetir las medidas dadas por el fabricante. Además, una de las ventajas de las fibras ópticas de plástico es su gran AN (típicamente $AN \approx 0.5$) frente a otro tipo de fibras como pueden ser las de vidrio (tanto monomodo (típ. $AN \approx 0.15$ aunque las hay específicamente con aperturas mayores hasta $AN \approx 0.3$) como multimodo (típ. $AN \approx 0.2$ aunque las hay específicamente con aperturas mayores hasta $AN \approx 0.4$)). Esto implica, que al ser más fácil acoplar luz a este tipo de fibras, los equipos asociados a la transmisión y recepción de luz en estos casos no necesitan ser tan precisos como para el caso de acoplar luz en fibras de vidrio, consiguiendo equipos más baratos y, por tanto, con mayor salida comercial.

Para la medida de la apertura numérica vamos a utilizar el método que se muestra en la Figura 3. Conecte un extremo de la fibra óptica en el emisor LED y deje que la luz incida en un papel situado a aprox. 5cm de la salida de la fibra. Observe como se expande el haz a la salida de la misma como se muestra en la Figura 3. El cálculo de la apertura numérica se realiza a partir de la relación:

$$AN = w / 2L$$

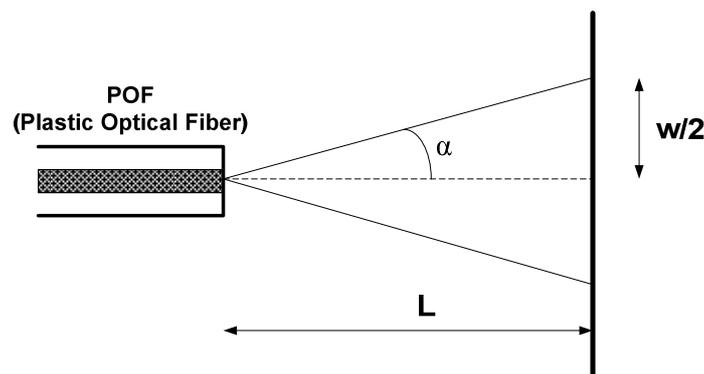


Figura 3.- Método de medida de la apertura numérica de una fibra óptica

- g) ¿Cuál es el valor de la AN que ha obtenido? Compare este valor con el valor proporcionado por el fabricante.
- h) Determine el ángulo máximo de aceptación de luz a la entrada de la fibra según la definición de la apertura numérica. ¿Qué ocurre para rayos con ángulos de entrada a la fibra mayores que el calculado?
- i) A partir de este dato puede calcular aproximadamente el número de modos que se están propagando por la fibra óptica y que se corresponden con las distintas distribuciones de campo electromagnético que se propagan a lo largo de la fibra. Utilice la fórmula:

$$M \cong \frac{V^2}{2} = \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{\lambda_0} aAN \right)^2$$

Donde:

V : es la frecuencia o anchura normalizada de la fibra. Para $0 < V < 2.405$ se tienen fibras monomodo con perfiles de salto de índice.

a : radio del núcleo

λ_0 : longitud de onda en el vacío, que se corresponde con la longitud de onda emitida por el LED.

AN : apertura numérica de la fibra óptica.

1.6 MEDIDA DE LA ATENUACIÓN DE LA FIBRA

Otro parámetro importante que vamos a medir en una fibra óptica va a ser la atenuación. Para ello vamos a utilizar uno de los métodos más usados que es el “cut-back” o método diferencial. Antes de proceder a la descripción de dicho método y de la práctica en sí vamos a hacer una serie de consideraciones sobre esta medida.

En primer lugar, la atenuación que presenta una fibra óptica cualquiera depende de la longitud de onda con que iluminemos la misma, ver Figura 4. Es entonces importante resaltar la longitud de onda de operación, que en el caso de la práctica corresponde a la de un LED a $\lambda = 660$ nm.

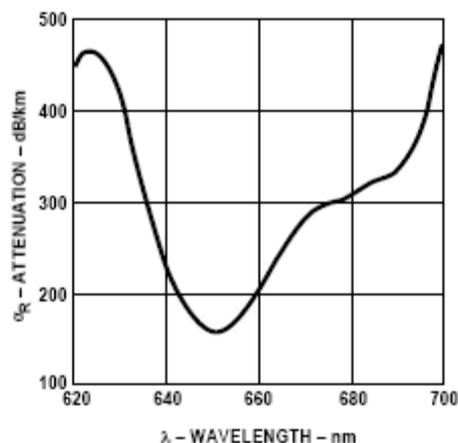


Figura 4.- Atenuación de la fibra óptica de plástico frente a la longitud de onda.

Por otra parte, la atenuación de la fibra dada por el fabricante es la atenuación por unidad de longitud cuando la fibra tiene su distribución modal de equilibrio (fibra multimodo). Esto es así porque si no garantizamos que la fibra tiene su distribución de equilibrio la atenuación medida dependerá del tipo de iluminación con que entremos a la misma (estaremos excitando unos modos u otros) y no será la real. Para evitar estos problemas se utilizan unos dispositivos (*mode-scramblers*) o se coloca un tramo largo de fibra antes del que se va a medir para asegurar esa distribución. Nosotros no vamos a utilizar ninguno de estos dos trucos pues nuestro objetivo final no es el medir exactamente la atenuación de la fibra sino ilustrar el método. De todas formas, los valores obtenidos sin estas consideraciones suelen ser bastante aproximados a los valores reales dados por el fabricante.

- j) Conectore los extremos del tramo de fibra en el emisor y el receptor respectivamente. Mida la tensión en la resistencia de carga del fotodiodo y anótela. A continuación, **y sin tocar para nada el extremo de la fibra por donde entra la luz**, corte la fibra unos 50cm a partir del extremo por donde sale la luz. Verifique que el extremo que queda libre después del corte no presenta imperfecciones significativas y conectorícelo de nuevo al fotodiodo en el receptor. Mida de nuevo la tensión en la resistencia de carga del fotodiodo y anote dicho valor.



- k) Con los datos obtenidos anteriormente y sabiendo que la corriente de salida del fotodiodo es proporcional a la potencia incidente calcule la atenuación por unidad de **distancia (tanto en dB/m como dB/Km)** de la fibra estudiada. Puede ayudarse de la fórmula abajo indicada donde P_1 es la potencia recibida en el fotodiodo asociada a L_1 y P_2 es la potencia recibida en el fotodiodo asociada a L_2

$$\alpha(\text{dB/m}) = \frac{10}{L_1 - L_2} \log \frac{P_2}{P_1} \quad L_1 \text{ y } L_2 \text{ en metros}$$

- l) Compare el valor obtenido con el valor que proporciona el fabricante en la hoja de características de la fibra.

1.7 ENLACES A LAS HOJAS DE CATÁLOGO DE LOS COMPONENTES UTILIZADOS EN ESTA PRÁCTICA

- **Emisor LED IF-E96 (Industrial Fiber Optics, Inc.)**

<http://i-fiberoptics.com/pdf/IFE96.pdf>

- **Fotodiodo receptor IF-D91 (Industrial Fiber Optics, Inc.)**

<http://i-fiberoptics.com/pdf/IFD91.pdf>

- **Transistor BJT BC547 driver emisor**

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/fairchild/BC547.pdf>

- **Fibra óptica de plástico (SI-POF)**

<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet2/6/0eufkxe7r756pwtsw5t0ykc1agyy.pdf>