

## **4 Instalación experimental**

### **4.1 Introducción**

En el presente capítulo se describen las características geométricas del transductor, así como la instalación experimental utilizada para el funcionamiento del sensor refractométrico. Se agrupan cada uno de los elementos en subsistemas: el sistema mecánico, circuitos eléctricos, óptico y medición, almacenamiento y procesamiento de datos. Algunas consideraciones para el desarrollo de la instalación fueron basadas en trabajos anteriores en los cuales se utilizó una superficie semiesférica hecha de cristales, ya que en el presente trabajo se enfrentan con algunas condiciones similares a los escritos.

En la Figura 5.1 se puede ver la instalación experimental completamente armada, en un comienzo las fibras ópticas (4) y (5) se encuentran en un punto inicial. Para realizar cada una de las mediciones las fibras ópticas son desplazadas del eje de simetría del transductor hacia el extremo del mismo, esto se logra por medio de las bases de movimiento triaxial (7), las fibras ópticas se encuentran sujetas a las bases de movimiento triaxial por medio de unos brazos metálicos (6). Además se cuenta con un par de medidores de desplazamiento los cuales tienen una gran sensibilidad. El elemento de detección (2), está sujeto a una placa de acrílico (3), y esta a su vez se encuentra fija a un poste, de esta forma las fibras ópticas se encuentran de forma ortogonal al elemento de detección. Por último todos los dispositivos se encuentran montados en una base de trabajo.

### **4.2 Descripción del transductor**

Anteriormente se mencionaron algunas de las características deseadas en algunos polímeros para poder ser utilizados en el campo de la óptica, en el presente capítulo se

definirán las características que tiene el elemento de detección cilíndrico que esta hecho de un polímetro, se definirán parámetros físicos y ópticos de interés para su empleo.

Además se consideran algunas limitantes en los procesos de fabricación del elemento que pueden afectar el rendimiento del mismo, igualmente se mencionan algunas de las razones por las cuales se escogió un polímetro en particular, esto con la finalidad de comprender el panorama al cual nos enfrentamos para la construcción del sensor

### **4.2.1 Diseño**

El elemento de detección tiene como propósito acoplar un haz entre las fibras ópticas transmisora y receptora por medio de reflexiones internas sucesivas a través del elemento. El transductor esta en contacto con el medio circúndante, de tal manera que la cantidad de potencia óptica acoplada depende del índice de refracción del elemento de detección como del medio en el cual se están realizando las mediciones.

Como se planteó anteriormente cuando se desea trabajar con elementos ópticos que estén conformados por algún polímetro, este presenta ciertas peculiaridades que pueden afectar su rendimiento. Primordialmente se tiene que decidir que polímero es el mas adecuado para nuestra aplicación, se decidió que el material apropiado es el polimetilmetacrilato (PMMA por sus siglas en ingles), además de que tiene un índice de refracción mayor que la mayoría de los fluidos (lo cual es una condición deseada del material, para que pueda existir reflexión total interna) es ampliamente utilizado para la fabricación de dispositivos ópticos de plástico así como en la fabricación de fibras ópticas plásticas. Este es un factor muy importante ya que el elemento de detección y las fibras ópticas plásticas deben de estar ópticamente acopladas ya que la interacción con otro medio provocaría una disminución en la potencia óptica por reflexión.

Conjuntamente se pretende de que el transductor sea un elemento uniforme que no tenga alguna imperfección a lo largo de su superficie (como pueden ser ralladuras,

burbujas, etc.), pero este tipo de condiciones es algo difícil de llevar a cabo ya que generalmente este tipo de superficies se producen en masa, por lo cual, no se pueden asegurar que su método de fabricación sea ópticamente aceptable. Además como se mencionó anteriormente los plásticos son muy fáciles de rayar.

El sensor consiste en un elemento de detección óptico cilíndrico que esta conectado a un par de fibras ópticas como se muestra en la Figura 4.1.

El elemento de detección es de un material dieléctrico transparente, como se mencionó anteriormente está compuesto de PMMA con un índice de refracción  $n = 1.48$  a  $\lambda = 940$  nm. Se empleó una sección hueca de un cilindro con el propósito de minimizar el peso y costo del material, para este uso, un cilindro completo también puede ser empleado, además si se considera de que a menor masa se ocupa un menor espacio en el contenedor afectando de una forma minima el nivel real del liquido existente.

El principio de operación es mostrado en la Figura 4.2 que muestra el elemento (1) de detección conectado a las fibras ópticas. Una es la fibra óptica de entrada o transmisora (3), y la otra la de salida o receptora (2). La luz proviene de una fuente de luz remota (no mostrada en la figura) y es acoplada vía la fibra óptica de entrada al interior del elemento de detección. La luz se propaga dentro del elemento óptico hasta encontrar la interfaz entre el elemento de detección y el medio en el cual esta sumergido. En este momento los rayos que viajan podrán ser transmitidos o reflejados internamente, dependiendo del ángulo con que indican en dicha interfaz y de los índices de refracción del polímero y del medio circundante. Los rayos que son transmitidos al medio circundante se pierden, mientras que los rayos reflejados continúan propagándose dentro del elemento cilíndrico, este proceso se repite hasta que algunos rayos llegan a la fibra óptica receptora. Posteriormente los rayos que alcanzan la fibra óptica de salida son transmitidos a un fotorreceptor (tampoco mostrado en la figura) que realiza la conversión optoelectrónica para finalmente procesar los datos.

## 4.2.2 Definición de parámetros geométricos del transductor

Con la finalidad de describir la geometría del transductor es conveniente definir sus parámetros, esto es, como se describe en [12]. Se definen los parámetros geométricos debido a que es más conveniente referir toda cantidad física al radio externo del elemento de detección  $R_2$ , de esta forma, con parámetros adimensionales es posible generalizar el comportamiento del dispositivo sin importar las dimensiones físicas reales. El diámetro  $D$  es un parámetro importante de las fibras ópticas, refiriendo dicho diámetro con respecto al radio externo del elemento cilíndrico obtenemos un diámetro relativo, el propósito de relacionar el diámetro de las fibras ópticas es debido a que se cuenta con una gran variedad de fibras ópticas plásticas de diámetros diferentes que pueden ser útiles para esta aplicación como medios de acceso al transductor.

$$\Phi = \frac{D}{R_2} \quad (4.1)$$

Otro parámetro que se puede variar es la distancia  $L$ , que es la distancia variable de una fibra entre el eje de simetría y el borde del transductor, siendo así, las fibras ópticas se encontraran opuestas radialmente (existiendo una distancia de  $2L$  entre ellas) y en forma simétrica con respecto a dicho eje, obteniendo de esta forma una distancia relativa entre la fibra al radio externo del elemento.

$$\Lambda = \frac{L}{R_2} \quad (4.2)$$

Finalmente se tiene una relación entre los radios  $R_1$  y  $R_2$  obteniendo un radio interno adimensional.

$$\rho = \frac{R_1}{R_2} \quad (4.3)$$

Obteniendo así tres parámetros físicos adimensionales, el diámetro relativo de las fibras  $\Phi$ , la distancia relativa de las fibras  $\Lambda$  y el radio interno relativo  $\rho$ .

### **4.3 Descripción de la instalación experimental**

El esquema de la instalación experimental es mostrado en la Figura 4.3.

Dos fibras ópticas están posicionadas en un ángulo recto respecto a la superficie al elemento de detección, un sistema mecánico permite el movimiento triaxial de las mismas para variar la distancia entre ellas. Las fibras ópticas cumplen con la función de hacer incidir un haz de luz sobre el elemento de detección, en uno de los extremos de la fibra óptica transmisora se encuentra acoplada una fuente de luz y en el otro extremo se encuentra el elemento de detección cilíndrico. Por otro lado la fibra óptica receptora esta acoplada en uno de sus extremos al transductor y en el otro a un fotodetector. La fuente de luz es alimentada por un generador de señales y por una señal triangular de frecuencia baja. El fotodetector esta conformado por un fotodiodo y un amplificador de transimpedancia, el cual tiene la función de transformar la corriente que proviene del fotodiodo a un voltaje para finalmente ser visualizado por medio de un osciloscopio, asimismo amplifica dicha señal. Finalmente para la correcta documentación y análisis del comportamiento del sensor la información registrada en el osciloscopio es enviada a una PC por medio de una interfase RS232-puerto serial, y por medio de programas realizados en Matlab, la información es guardada.

## 4.4 Sistema óptico

### 4.4.1 Fibras ópticas

Las fibras ópticas utilizadas son unas fibras ópticas plásticas de polimetilmetacrilato fabricadas por la compañía Shenzhen Dasheng OptoElectronic Technology mostradas en la Figura 4.4, la decisión de utilizar esta fibra óptica es por la compatibilidad con el elemento de sensibilidad, ya que ambos están hechos del mismo material. Se realizaron las mediciones por medio de un microscopio para obtener sus dimensiones físicas, obteniendo así un diámetro del núcleo de 980 nm. Se obtuvieron las características técnicas de las fibras ópticas por medio de las especificaciones del fabricante. La atenuación de las fibras es de hasta 0.2 [dB/m], la apertura numérica de las fibras ópticas es de 0.5 y con un rango de temperatura de operación entre -50 y 70 °C. De tal manera se tiene un diámetro relativo de  $\Phi = 0.05$ .

Para el uso de la fibra óptica se tuvo un tratamiento especial para obtener superficie lo más lisa posible para que fueran ópticamente viables, como primer paso se cortaron para tener un par de fibras, una que se usara como transmisora y otra receptora. Se retiró la cubierta de plástico un par de centímetros, utilizando un cortador de fibra óptica plástica, posteriormente se procedió a pulir la superficie de ambas fibras, con una lija de agua para poder obtener una superficie lisa. Dicha lija permitió que la superficie fuese más uniforme y lisa, pero poco transparente, esto es, la superficie era ópticamente opaca ya que no había una buena transmisión de la luz además podían visualizarse algunas imperfecciones. Como último paso se colocó un poco de pegamento de acrilatos sobre la superficie de las fibras ópticas, para obtener una superficie más transparente. Esto se debe a que el pegamento es un poco abrasivo con los acrilatos ayudando a disolver la primera capa que se encontraban un poco dañadas por la lija y dándoles un acabado más transparente y uniforme.

A pesar del tratamiento que se le dio a las fibras ópticas, se cuentan con algunas imperfecciones que influyen directamente en la transmisión de la luz a través de estas, por lo tanto el comportamiento de algunos parámetros ofrecidos por los fabricantes pueden diferir a los reales.

#### **4.4.2 Fuente de luz**

Como fuente de luz óptica se utilizó un LED ya que presenta algunas cualidades que pueden ser de utilidad con esta aplicación, una de ellas es que es una fuente de luz de bajo costo en comparación con un láser, además de que tienen una mejor estabilidad de transmisión, asimismo el LED requiere poca cantidad de energía para su funcionamiento, los circuitos para polarizarlo son muy sencillos, entre otras. Dichas características lo hacen una fuente más que conveniente a pesar de que existan ciertas desventajas como un ancho espectral mayor, o que su patrón de radiación sea más divergente que un láser.

El LED escogido es un compuesto de GaAlAs marca Everlight modelo IR333C/H0/L10 con un área emisora de diámetro de 5 mm, su máxima emisión se encuentra a una longitud de onda de  $\lambda = 940$  nm y presenta un ancho espectral de 45 nm con un ángulo de divergencia de  $2\theta = 40^\circ$ . Como mayor información se anexaron las hojas de especificaciones en la zona del apéndice.

Como señal de excitación del LED se empleó una señal triangular a 100 Hz. La razón por la cual se empleó dicha señal es porque de esta forma se pueden identificar cambios en la transmisión, debido a que se conoce la forma y frecuencia de la señal de trabajo. De tal forma es fácilmente identificar si se está captando luz natural ya que se manifestaría como un desplazamiento de nuestra señal así como la saturación provocada por el circuito fotoreceptor que sería identificada como la distorsión de la señal.

El LED fue conectado en serie con una resistencia de  $165\Omega$ , obteniendo así una corriente de polarización de 13.3mA pico y es obtenido por el circuito que se muestra en la Figura 4.5.

### **4.4.3 Fotodetector**

Se utilizó un fotodiodo de Germanio como dispositivo detector de intensidad de luz, el cual genera una fotocorriente en función de la intensidad óptica, dicho fotodiodo se colocó en el extremo de la fibra óptica receptora. Una de sus principales cualidades del fotodiodo era su amplia superficie fotosensible la cual contaba con un área de  $23.52 \text{ mm}^2$ , lo cual es de gran ayuda ya que se puede detectar una mayor cantidad de luz que proviene de la fibra óptica receptora que como se mencionó anteriormente, cuenta con un diámetro amplio y una apertura numérica grande, pues abarca en su totalidad la sección transversal de la fibra receptora, por lo que se piensa que la radiación óptica que emita la fibra es detectada por el fotodiodo por completo. Se puede observar una imagen del fotodiodo en la Figura 4.6.

## **4.5 Sistema mecánico de posiciones**

### **4.5.1 Requisitos para el sistema mecánico**

Como se mencionó todos los parámetros físicos de los elementos que componen al sensor están referidos al radio externo del transductor, uno de estos parámetros es la distancia relativa  $\Lambda$  a la cual se encuentran las fibras ópticas con respecto al eje de simetría del cilindro, dicha distancia es un parámetro que se desea variar, con el fin de encontrar el punto donde exista una mayor transmisión de luz a través del elemento de detección y así, las fibras ópticas se encuentren acopladas. Por esta razón es necesario tener un control preciso sobre la posición de las fibras ópticas, para esto se debe de contar con un control preciso de la distancia  $L$  que existe entre las fibras ópticas y el eje del cilindro, además tener la ubicación exacta del eje del cilindro utilizado como elemento transductor. Para dicha tarea se requiere de elementos de alta precisión móviles para poder tener un control sobre estas cantidades. Para el experimento se desea que las fibras ópticas permanezcan fijas y posicionadas en un ángulo recto sobre un plano ecuatorial del elemento de detección, de tal manera que se requieren un conjunto de bases que soporten a las fibras en dicha posición que aseguren esta condición.



#### ***4.5.2 Bases de movimiento triaxial***

Se utilizó una mesa óptica ThorLabs PBI51505 que soporta la estructura del experimento Figura 4.7, conjuntamente dos bases con movimiento triaxial de precisión de 10µm ThorLabs PT3 Figura 4.8, que sostienen unos brazos y metálicos, estos a su vez sostienen unas bases que soportan las fibras ópticas transmisora y receptora. De esta forma es posible en un eje (eje X) controlar la distancia a la cual se mueven las fibras ópticas con respecto al eje del cilindro, de la misma manera se controla que las fibras ópticas se encuentren en el mismo plano radial (eje Y), y por último se controla también la altura en la que se ubican las fibras (eje Z) con respecto al elemento de detección de tal forma que el transductor y las fibras ópticas estén en contacto directo, de esta forma se evita que se tenga una interfaz de aire entre las fibras y el cilindro.

A pesar de que las bases de movimiento triaxial contaban con micrómetros graduados con una precisión de 10 micrómetros para cada eje, se añadieron dos medidores de desplazamiento auxiliares en cada una de las bases de movimiento triaxial para medir el desplazamiento de las fibras y la distancia entre estas y el transductor sobre el eje X de una forma más práctica y precisa, dichos medidores auxiliares constan de un tubo que al sufrir alguna fuerza de compresión se desplaza haciendo funcionar un mecanismo interno que gira una aguja de manera proporcional a la distancia recorrida por el tubo.

#### ***4.5.3 Soportes de fibra óptica***

Las fibras ópticas son adaptadas a las bases de movimiento triaxial mediante brazos metálicos. Los brazos se encuentran fijos a las bases de movimiento por uno de sus extremos mediante pestañas de sujeción, mientras que en el otro extremo se encuentran sujetas las fibras mediante un par de soportes metálicos. Las fibras ópticas son sostenidas en los soportes metálicos por medio de plastilina epóxica, de esta manera no

existe movimiento en la fibra óptica con respecto al soporte tal como se muestra en la Figura 4.9.

Para tener al transductor en una correcta posición con respecto a las fibras ópticas, se cuenta con una plataforma hecha de acrílico que tiene en sus superficie una abertura rectangular que se utilizó para que las fibras ópticas se movieran con libertad en las tres direcciones de los ejes como se muestra en la Figura 4.10, el elemento de detección fue pegado a dicha plataforma con pegamento para acrilatos, de tal manera que el elemento óptico se encontrara paralelo con respecto a la mesa. La plataforma se encuentra sujeta a un poste cilíndrico permitiendo que la superficie del cilindro y las fibras ópticas estén colocadas a una distancia suficientemente cerca y así poder ser posicionadas de manera precisa con las mesas de movimiento triaxial.

Debido a que el elemento óptico se encuentra por debajo, sobresaliendo por la superficie inferior de la plataforma de acrílico es posible modificar el medio externo que lo rodeaba. Para ello se utilizó un contenedor con las diferentes muestras que se deseaban medir, el transductor es sumergido en el contenedor de tal forma que es parcialmente cubierto por el medio externo.

La fuente de radiación óptica es acoplada a una fibra óptica mediante un par de soportes metálicos, los cuales poseen aberturas de tal forma que la fibra óptica y el LED embonaban y se ajustaban a estos. Los soportes se encuentran fijos a la mesa de trabajo y posicionados de manera que el centro de emisión del LED apunta a la cara de la fibra óptica, existiendo entre ellos una distancia de 6 cm, tal y como se muestra en la Figura 4.11.

## 4.6 Circuitos eléctricos

### 4.6.1 Requisitos de los circuitos eléctricos

El circuito eléctrico es la parte del sensor que tiene la función de generar y amplificar una señal eléctrica en función de la fotocorriente. La determinación del circuito fotorreceptor es hecha en base a las necesidades del sistema. Se requiere para esta aplicación que el circuito fotorreceptor cuente con una ganancia alta y una respuesta lineal. Si se toma en cuenta que la corriente que entrega el fotodiodo es muy pequeña, amplificar la señal que este recibe es de gran utilidad. El diseño de un amplificador de transimpedancia para un fotodetector implica los parámetros como ganancia, ancho de banda, estabilidad, ruido, nivel de desplazamiento de corriente directa y respuesta temporal.

Para cumplir con esta tarea se comenzó por utilizar un amplificador de transimpedancia basado en un amplificador operacional en su configuración más simple mostrada en la Figura 4.12.

La función de voltaje de este circuito puede ser obtenida tomando en cuenta las características ideales del amplificador operacional, siendo esta la siguiente.

$$V_o = R_F i_{ph} \quad (4.4)$$

Debido a que el voltaje de salida depende de la resistencia de realimentación, dicha resistencia debe ser de un valor alto, ya que la corriente es muy pequeña al momento de circular por el circuito de transimpedancia, y de esta forma para tener un voltaje que pueda ser detectado. La implementación del circuito se realizó empleando una resistencia de realimentación de 3.3 M $\Omega$ , no obstante, no se logró obtener una señal de salida.

#### 4.6.2 Fotorreceptor

Debido a que el circuito utilizado no fue suficiente para poder obtener la señal óptica, se eligió emplear una configuración de amplificador de transimpedancia de alta ganancia planteado por [24]. Este circuito es una configuración híbrida que conjunta los beneficios del amplificador de transimpedancia y una configuración de amplificador no inversor. El circuito a emplear es el mostrado en la Figura 4.13.

La elección de un circuito integrado adecuado para realizar el amplificador de transimpedancia se basó en las características principales que requiere la aplicación, esto es, alta ganancia, bajo ruido, impedancia de entrada alta, niveles bajos de corriente en la entrada del amplificador, de tal forma que el circuito integrado escogido fue LF356N de National Semiconductor.

En la referencia bibliográfica se menciona que la frecuencia de corte que presenta la respuesta en esta configuración puede modificarse mediante un elemento capacitivo en paralelo a  $R_p$ , La función de transferencia del amplificador fue obtenida de un análisis de [24] donde se llega a la siguiente expresión.

$$\frac{v_s}{i_{ph}} = R_p \left( \frac{R_r}{R_1} + 1 \right) + R_r \quad (4.5)$$

Con la configuración final de circuito, la ganancia que presenta en baja frecuencia puede ser obtenida por medio de la ecuación, obteniendo así:

$$\frac{v_s}{i_{ph}} = 10000k \left( \frac{3300k}{68k} + 1 \right) + 3300 = 498.4 \cdot 10^6 \left[ \frac{V}{A} \right] \quad (4.6)$$

El circuito es simulado con el programa PSpice para cuantificar su respuesta en frecuencia. La grafica obtenida se muestra en la Figura 4.14. Se puede observar que la

respuesta que tiene el circuito es paso bajas. En la simulación, la ganancia ( $G_m$ ) en baja frecuencia es de  $496 \times 10^6$ , la frecuencia de corte presentada es de 3 kHz.

En la salida del circuito fotoreceptor es medido el nivel de ruido con ayuda del osciloscopio, obteniendo así un ruido de 20.5 mV, esta medición se llevo a cabo sin una señal óptica incidente, y el circuito se encuentra polarizado por un voltaje positivo de 12 V y un voltaje negativo de 6V. Cabe señalar que al polarizar el circuito este presenta una interferencia electrostática y magnética, asimismo como una señal de 60 Hz. La reducción de la interferencia se consiguió proporcionando al circuito un blindaje colocando el circuito en una caja metálica conectada a la tierra física Figura 4.15. La señal de 60 Hz tiene origen en las fuentes de polarización del amplificador operacional.

## **4.7 Sistema de medición, almacenamiento y procesamiento de datos**

### **4.7.1 *Requisitos para la medida, almacenaje y tratamiento de los datos***

Para el correcto análisis del comportamiento del sensor es necesario poder adquirir de manera cuantitativa el comportamiento de este. Es deseable poder almacenar el conjunto de lecturas obtenidas para poder realizar un análisis mas profundo de la conducta del transductor. De tal forma que se requiere un osciloscopio para poder medir la diferencia de potencia que se produce en las terminales del circuito fotoreceptor, además se necesita utilizar una Computadora para almacenar los datos. Como se conoce, se requiere un software que pueda hacer la interacción entre estos dispositivos (osciloscopio y computadora) que cumpla con la tarea de comunicar estos dos dispositivos y poder manejar la información adquirida.

#### ***4.7.2 Generador de señales, osciloscopio y fuente de poder***

La señal que alimentaba la fuente de luz es generada por un generador de señales SYNTHESIZED FUNCTION Generator, con el cual se produce una onda triangular de 3 V pico-pico con una frecuencia de 100 Hz.

La señal de salida del fotoreceptor es analizada por medio de un osciloscopio digital Gould 475 Digital Storage Oscilloscope BW 200 MHz. Una de las cualidades que ofrece este dispositivo es la posibilidad de adquirir datos de la señal que se desea medir, como voltaje pico-pico, frecuencia, además que nos permite observar la existencia de distorsiones de la señal debidas a ruido o a saturación de la señal por el amplificador.

Para que el amplificador de transimpedancia funcionara correctamente se utilizó una fuente de alimentación Tektronix PS280, la cual ofrecía una diferencia de potencial de 18 V para poder polarizar el circuito amplificador y obtener la ganancia deseada para poder adquirir los datos correctamente.

#### ***4.7.3 Almacenamiento y procesamiento de datos***

Como dispositivo de almacenamiento de datos se utilizó una computadora. La comunicación entre esta y el osciloscopio digital se lleva a cabo mediante el puerto serial de la computadora al puerto RS232 del osciloscopio y como una interfaz de comunicación entre estos dos dispositivos se utilizó el software Matlab. Se utilizaron programas desarrollados en Matlab con el fin de cuantificar y almacenar el voltaje pico-pico recibido por el circuito fotoreceptor.

A continuación se realizará una breve explicación de los programas utilizados, para un mayor análisis los programas se encontraran anexados en el Apéndice 2.

### Programa: INI\_COM1

Dicho programa es utilizado para inicializar el puerto serial de la computadora, esto es, se definen los parámetros de comunicación del puerto serial (velocidad, tamaño del buffer) para que la computadora pueda establecer comunicación con el osciloscopio a través de este puerto. Ya definidos los parámetros, se realiza una prueba de comunicación enviando una petición al osciloscopio de identificación, la cual reenviará a la computadora información del osciloscopio como modelo, versión del software, etc. Dicho programa debe ser ejecutado antes de cada medición ya que los parámetros no son almacenados por ambos dispositivos y no se pueden reconocer automáticamente.

### Programa PTP02POF

El programa es desarrollado para mediciones donde el medio externo se mantiene constante y es necesario realizar un barrido de posiciones relativas de las fibras ópticas. Se ofrece la posibilidad de que las mediciones puedan ser guardadas en un archivo, el cual el usuario puede introducir el nombre de este según su conveniencia. Como primeros datos se requiere que el usuario introduzca el número de lecturas totales que desea realizar, el tiempo que quiere que exista entre estas, para así obtener un promedio de lecturas y conseguir una sola lectura. Inmediatamente se le pide al usuario la posición en que se encuentran las fibras, enseguida se realiza el proceso de petición al osciloscopio el valor de voltaje pico a pico de la señal que está siendo medida y enseguida se le ofrece al usuario la opción de guardar o no el valor obtenido, esto es por si el usuario considera que un agente externo perturbó su medición pudiendo así desechar el dato corrupto y repetir la medición. Si el dato fue obtenido correctamente los datos son almacenados después de cada medición.

#### **4.7.4 Microscopio**

Debido a que utilizan diversos dispositivos pequeños, se tuvo la necesidad de utilizar un microscopio (Figura 4.16), esto con el fin de obtener sus dimensiones geométricas reales. En este caso se obtuvo las dimensiones de las fibras ópticas, así como las dimensiones reales del fotodetector, debido a que se requería conocer si eran compatibles. Esto es, que su área de funcionamiento eran similares para no tener pérdidas. En este caso se deseaba que el fotodetector tuviera un área mayor, lo cual fue fácil de comprobar por el uso del microscopio.