

5 Metodología del experimento y resultados

5.1 Introducción

En este capítulo se describe como se llevaron a cabo el conjunto de experimentos utilizando la instalación experimental que previamente fue explicada. También se presentan los resultados obtenidos a base de la experimentación, además se describen los retos que se generaron en el trabajo de investigación. Asimismo se sugirió una solución a estos retos. Por último se dan las bases para una de las posibles aplicaciones del transductor como es el sensado de nivel de líquidos.

5.2 Metodología del experimento

Para realizar cualquier experimento se procuró que las condiciones del experimento no variaran entre mediciones, esto es, que las fibras ópticas siempre estuviesen limpias, y si presentaba alguna imperfección se corregía mediante un procedimiento de pulido. De la misma forma se tuvo un gran cuidado en mantener en buena condición el elemento transductor. Además se cuidó que no hubiese interferencias de algún otro agente externo al experimento (esto es el ruido generado por transmisiones de otros dispositivos así como luz que proviniera de alguna fuente).

5.2.1 Fabricación de los elementos ópticos

En la figura 5.1 se puede observar la instalación experimental montada en la cual se aprecian la mayoría de los dispositivos previamente explicados con la cual se comenzará la experimentación.

Para la fabricación de elementos ópticos se utilizó una barra de PMMA con un diámetro de 4 cm y una longitud de 1.9 m mostrada en la Figura 5.2. Para el uso de la barra como transductor se decidió cortar una sección de 6 centímetros de longitud. Enseguida se hizo un corte transversal en la barra, obteniendo de esta forma la pieza que se utilizó como transductor; los cortes fueron hechos con una segueta, lentamente debido al cuidado que se debe de tener con los polímeros para no dañar mucho la superficie de la barra.

Las dimensiones físicas reales del elemento de detección (Figura 5.3) mostradas en la Tabla 5.1:

Tabla 5.1.- Dimensiones físicas reales del elemento de detección.

Elemento	Dimensión real	Medidas adimensionales
Radio interno(R_1)	14 mm.	$\rho = 0.7$
Radio externo(R_2)	20mm	
Grueso del cilindro (w)	6mm	
Diámetro de las fibras ópticas (D)	0.98 mm	$\Phi = 0.049$

Teniendo la mitad de la barra cortada se observó que la superficie fue un poco dañada por el uso de la segueta y ópticamente opaca, por lo cual se decidió lijar la superficie del cilindro con lijas de metal para quitar las imperfecciones de gran tamaño y enseguida se utilizaron lijas de agua finas para obtener una superficie más lisa. Después de lijar la barra de acrílico, de la misma forma que las fibras ópticas se agregó un poco de pegamento de acrilatos sobre la superficie del cilindro para obtener una superficie más transparente y ópticamente más adecuada, para finalmente colocarla en la instalación experimental.

5.2.2 Calibración del sensor

En el momento en el que la instalación experimental se encuentra colocada correctamente y las condiciones de trabajo son las adecuadas para el experimento la siguiente labor a realizar es conocer el comportamiento del sensor con el fin de contar con la calibración del dispositivo. Para llevar a cabo dicho procedimiento se requiere tener un parámetro con el cual comparar la respuesta del sensor, en este caso aire. Esta tarea se puede realizar a través del comportamiento del sensor obteniendo su transmisión absoluta cuando el medio circundante es aire, realizando un barrido de las fibras sobre la superficie del elemento de detección, esto es, modificando la posición relativa de las fibras ópticas cuando el medio externo que cubre al transductor es aire y midiendo la señal de salida que nos entrega el receptor, obteniendo así la gráfica que representa la calibración del sensor.

El procedimiento utilizado para la caracterización con aire como medio externo es realizando un barrido de posiciones de las fibras a partir de $\Lambda = 0.64$ hasta $\Lambda = 1$. El límite inferior del rango de valores elegido fue por las limitaciones geométricas del elemento detector, esto es, de la superficie cilíndrica únicamente es posible tener contacto con una sección de ésta. Por lo anterior se entiende que $\Lambda = 0.64$ es la frontera del cilindro; así a partir de $\Lambda > 0.64$ se cuenta con una superficie de contacto y por lo tanto se presenta la oportunidad de que exista reflexión total interna a través del elemento óptico de detección y se presente un conjunto de condiciones de acoplamiento entre las fibras transmisora y receptora.

Asimismo, para la toma de lecturas se tomó en cuenta un promedio ya que para un conjunto de lecturas en el mismo punto estas pueden variar un poco, idealmente se considera que el elemento debería de otorgar la misma respuesta en un mismo punto si se llevan a cabo un conjunto de mediciones en tiempos distintos, pero esto no es así, esto se debe a que puede haber errores en la metodología para realizar las mediciones. Algunas mediciones sugieren que el sistema mecánico que transporta las fibras pueda presentar ligeras variaciones y esto se puede traducir a variaciones en la transmisión.

Las fibras ópticas son posicionadas al inicio en $\Lambda = 0.64$, como se ha mencionado el uso de dispositivos ópticos de polímeros requiere un cuidado muy especial, como se planea mover las fibras sobre la superficie de detección se debe de cuidar que las fibras ópticas no rocen con el transductor debido a que la constante fricción entre estos elementos ocasionarían que se rayaran los componentes plásticos, por lo cual se utilizó un líquido que sirve como interfaz entre los dos componentes con un índice de refracción muy cercano al del PMMA ($n = 1.48$ a $\lambda = 980$ nm). El líquido seleccionado es la glicerina debido a que tiene un índice de refracción $n = 1.465$ a $\lambda = 980$ nm, con el cual evitó el daño de los elementos por fricción.

Para comenzar se ejecuta el programa INI_COM1, para que la PC y el osciloscopio se sincronicen, enseguida se ejecuta el programa PTP02POF, el cual en su

inicio pide el nombre del archivo en cual se desean guardar las lecturas tomadas, enseguida se fija la posición de inicio de las fibras (como se menciono anteriormente $\Lambda = 0.64$), después se fija el número de lecturas a realizar en cada punto, en esta caso se hicieron 10 lecturas, con un intervalo de 1 segundo por cada lectura. Enseguida se especifica en el programa el desplazamiento que han sufrido las fibras, para después tomar las lecturas. Una vez tomada la lectura se decide si ese valor es útil y se guarda, o se desecha, de lo contrario, en seguida se desplazan las fibras ópticas y se especifica este valor en el programa, esta tarea se repite hasta que se ha recorrido toda la geometría de la superficie de detección.

Siguiendo la metodología descrita anteriormente se obtuvo la respuesta mostrada en la Figura 5.4.

Los picos observados en la gráfica corresponden al acoplamiento de las fibras ópticas por medio de dos, tres, o más secuencias de reflexiones de luz dentro del elemento de detección. Esto corresponde a algunas distancias adimensionales Λ , mientras las distancias intermedias no proveen algún acoplamiento óptico, o uno muy pequeño.

En la Tabla 5.2 muestra las posiciones relativas de las fibras ópticas óptimas, es decir las posiciones de máximo acoplamiento. Cuando la posición de las fibras ópticas se aproxima a la frontera del elemento, se tiene la mayor transmisión posible debido a que casi toda la luz viaja a través del elemento hasta la fibra de salida con un gran número de reflexiones internas.

Tabla 5.2. Picos de transmisión en el aire

Pico de transmisión.	Distancia relativa Λ
1 °	0.71
2 °	0.865
3 °	0.93
4 °	0.975

En este punto se conoce la respuesta del sensor cuando su medio externo es aire. Como se mencionó anteriormente es conveniente utilizar cantidades relativas, de tal forma que se utilizaran como base las mediciones obtenidas con aire para ser un punto de referencia, esto es, todas las mediciones que se hagan a otros fluidos serán referidos al aire para así poder ser analizados y comparados.

5.3 Retos en la medición

Ya que se conoce el comportamiento del sensor y se tiene calibrado, el siguiente paso es realizar el experimento, el cual consiste en encontrar el parámetro del sensor (distancia relativa Λ), para el cual los líquidos de estudio (agua, gasolina y diesel) pueden ser discriminados satisfactoriamente entre sí.

En los primeros ciclos de medición se observaron algunas dificultades las cuales se debían mejorar. En la Figura 5.5 se puede observar que las transmisiones absolutas del agua y gasolina superaron a la del agua. Para que exista reflexión total interna el medio en el cual se transmite la luz debe de tener un índice de refracción mayor que el del medio externo, además el ángulo de incidencia debe de ser mayor que el ángulo crítico. Para la primera condición se conoce que el índice de refracción del PMMA es mayor que el del agua, la gasolina y el diesel, para la segunda condición se considera que alguno de los rayos que indiquen en el transductor deben de hacerlo con un ángulo menor al ángulo

crítico. Debido a que el cilindro es hueco y está completamente inmerso en el líquido, esto sugiere que algunos de rayos de luz que llegan al receptor viajan fuera del elemento de detección. De tal forma que se generó la hipótesis de que había rayos que estaban viajando por la sección hueca del cilindro que se encontraba llena del líquido a medir, la gráfica de la Figura 5.5 puede ser incorrecta.

Por lo tanto se construyó un objeto para evitar que los rayos que se cree viajan a través de la sección hueca no lleguen a la fibra óptica receptora, el elemento diseñado se ilustra en la Figura 5.6.

Con esta modificación se realizó el procedimiento de caracterización, colocando la pieza en forma de “T” en la sección hueca del transductor para medir por segunda vez los siguientes líquidos; aire, agua, gasolina y diesel, obteniendo las transmisiones relativas mostradas en la Figura 5.7. En la figura se puede observar que ninguna de las transmisiones relativas es mayor que la del aire, esto nos lleva a pensar que la suposición que se tenía era correcta y que algunos de los rayos viajaban a través de la sección hueca del cilindro.

5.4 Resultados

Como se planteó con anterioridad se investigó experimentalmente la posibilidad de utilizar el sensor para discriminar entre algunos líquidos, en esta caso derivados del petróleo (gasolina y diesel), además se realizaron pruebas para el agua (agua destilada $n = 1.32$), debido a que existe la posibilidad de que en contenedores de combustibles se pueda condensar el agua y existan ambos líquidos en el mismo contenedor sin que el usuario lo desee. Por tal razón se desea utilizar el sensor refractométrico para caracterizar este tipo de fluidos para obtener los parámetros necesarios con el fin de reconocer estos fluidos por medio del sensor refractométrico.

Para la caracterización de las sustancias, se utilizó una muestra de gasolina ($n = 1.442$ at $\lambda = 940$ nm) en un contenedor plástico previamente forrado con un material obscuro para evitar las reflexiones en el contenedor por su superficie ligeramente reflejante, se sumergió el transductor dentro del contenedor, enseguida se realizó el mismo procedimiento para la caracterización del sensor, es decir, se efectuó un barrido de las fibras ópticas por la geometría de la superficie con el fin de detectar aquellas ventanas de transmisión en las cuales las fibras ópticas se encuentran ópticamente acopladas. De esta forma se obtiene el comportamiento del sensor cuando la gasolina se encuentra como medio externo.

Con la transmisión absoluta del sensor para la gasolina, enseguida se hace la relación de esta con respecto a la del aire, obteniendo de esta manera, como se explicó anteriormente, la transmisión relativa T^* para cada una de las diferentes posiciones relativas existentes.

Se realiza el procedimiento mencionado anteriormente para el agua, obteniendo así las transmisiones relativas tal como son mostradas en la Figura 5.7.

En esta Figura 5.8 se observa que en el eje de las X se encuentra el valor de índice de refracción contra la transmisión absoluta para un conjunto de valores de diámetro relativo el cual es prácticamente $\rho=0.05$ de fibra ópticas y a una distancia relativa $\Lambda=0.95$. Se puede destacar de que para $\Lambda=0.95$ puede haber una correcta discriminación entre los fluidos utilizados, esto es, de que al tener una transmisión relativa muy diferente es fácil reconocer dentro de que líquido se encuentra sumergido el transductor.

5.5 Conclusiones

Se investigó experimentalmente la respuesta de un transductor refractométrico de fibra óptica basado en un elemento de detección cilíndrico de plástico. Este mide el índice de refracción de un medio circundante. Particularmente se investigó la transmisión para medios externos como aire, gasolina, agua y diesel con el propósito de integrarlo en el sistema de control de algún vehículo que utilice combustibles como los mencionados para medir el nivel dentro de un tanque de algún vehículo que utilice estos combustibles. Se averiguó cuales son los parámetros óptimos en los cuales se puede tener una discriminación confiable entre aire-gasolina y aire-diesel. El elemento que fue investigado en este trabajo se puede utilizar en forma de un arreglo vertical de sensores (una fibra transmisora y una receptora colocada a los parámetros descritos anteriormente) para poder tener una medición completa de los líquidos en tanques.