

CAPÍTULO 2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

2.1 Características de diseño del Sensor de Flujo de Calor

El presente capítulo muestra las características físicas, la metodología de diseño y las diferentes pruebas de calibración de un sensor de flujo de calor con trayectoria lineal. Se identificarán las principales limitaciones del dispositivo y éstas serán modificadas en el siguiente capítulo buscando desarrollar un diseño de dimensiones más compactas, con disminución del ruido mecánico. Esto con el objetivo de incrementar notablemente la sensibilidad del sistema. Para lograr la caracterización y calibración será necesario analizar las características principales del funcionamiento de ésta configuración del sensor de flujo de calor.

2.1.1 Principio de funcionamiento de un Sensor de Flujo de Calor

El diseño del sensor de flujo de calor basa su funcionamiento en el siguiente principio:

Inicialmente se produce el calentamiento de una de las caras del bloque de acrílico. El calor generado por la diferencia de temperatura entre las caras paralelas del bloque provoca que en este medio exista un gradiente de temperatura $T(x)$, que a su vez provoca la expansión molecular en el material termo-óptico y por ende, origina un gradiente de índice de refracción $\eta(x)$. Al incidir un haz de luz en este medio con gradiente de índice de refracción se ocasiona una desviación del camino óptico del haz hacia la región menos caliente, es decir, la región con mayor índice de refracción. Éste principio se ilustra en la Fig. 2.1:

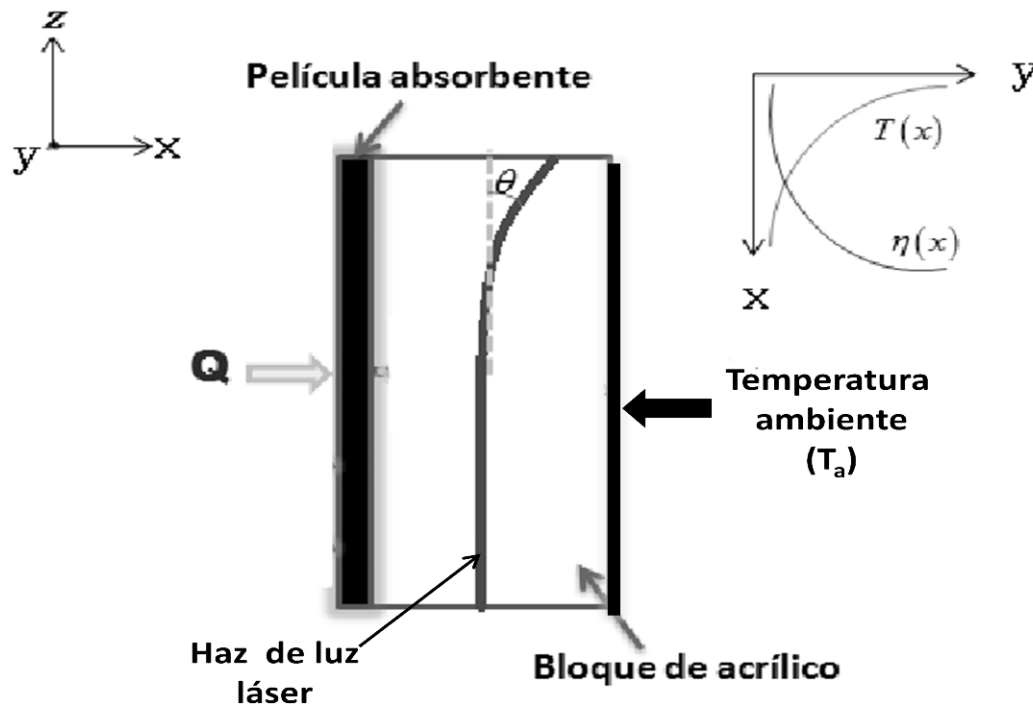


Figura 2.1. Esquema del sensor de flujo de calor.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

Producto de la desviación del haz emitido se detecta un cambio de intensidad luminosa que se recibe en una fibra monomodal. Ésta variación en la potencia de salida responde al desacoplamiento entre los perfiles de intensidad del haz de naturaleza gaussiana y la fibra óptica monomodal (Fig. 2.2 y Fig. 2.3), siendo éste el principio de funcionamiento de un sensor de ángulo. Posteriormente se mostrará detalladamente la calibración del sensor de ángulo que intrínsecamente forma parte del sensor de flujo de calor.

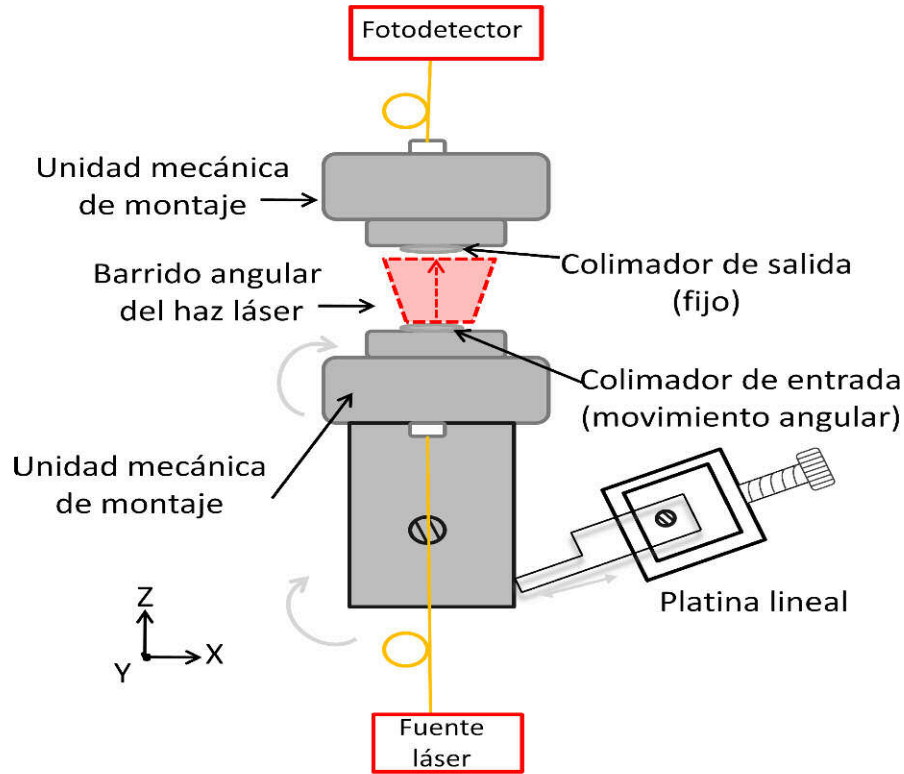


Figura 2.2: Esquema del sensor de ángulo.

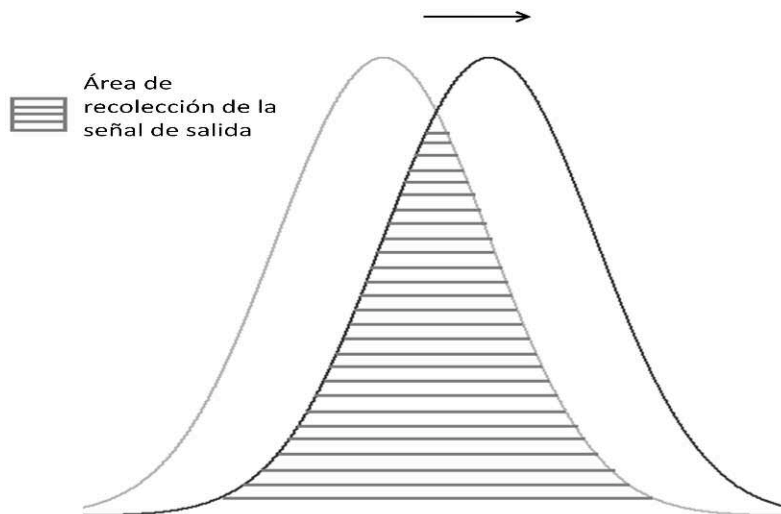


Figura 2.3: Desacoplamiento de los perfiles de intensidad del haz láser y la fibra óptica monomodal.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

2.1.2 Esquema del sensor de flujo de calor con trayectoria lineal

El montaje experimental del sensor de flujo de calor con trayectoria lineal está conformado por una fuente emisora del haz de luz (láser), que utiliza fibra óptica para la transmisión de la señal y está conectorizada a un sistema de colimación formado por dos lentes colimadoras idénticas, que garantizan un ángulo de divergencia despreciable a lo largo del camino óptico. Situado entre el par de lentes colimadoras se encuentra el material termo-óptico, específicamente un bloque paralelepípedo de acrílico transparente, seleccionado dado que presenta un coeficiente termo-óptico ($\frac{dn}{dT}$) alto y mayor que el vidrio, aunado a que es fácil de manipular y su costo es bajo. El sistema cuenta con un par de placas que alinean y presionan al bloque. Estas placas son manipuladas por medio de 4 tornillos de ajuste situados en los extremos de las mismas, para lograr así la incidencia normal (0°) de la cara de entrada del bloque respecto del eje óptico. Aunado a esto, las placas proporcionan mayor estabilidad mecánica en el sistema de sensado.

La fuente de calor del sistema se encuentra en una de las caras laterales del bloque, a la cuál se le adhirió una película polimérica con la finalidad de absorber un amplio rango de longitudes de onda a través del efecto fototérmico. Para llevar a cabo la foto-excitación de la película absorbente, fue necesario colocar una fuente de luz blanca a un costado.

Para la detección de la señal de salida, se colocó un fotodetector que envía los datos adquiridos a una computadora mediante una interfaz. El esquema del montaje experimental descrito se muestra en la Fig. 2.4.

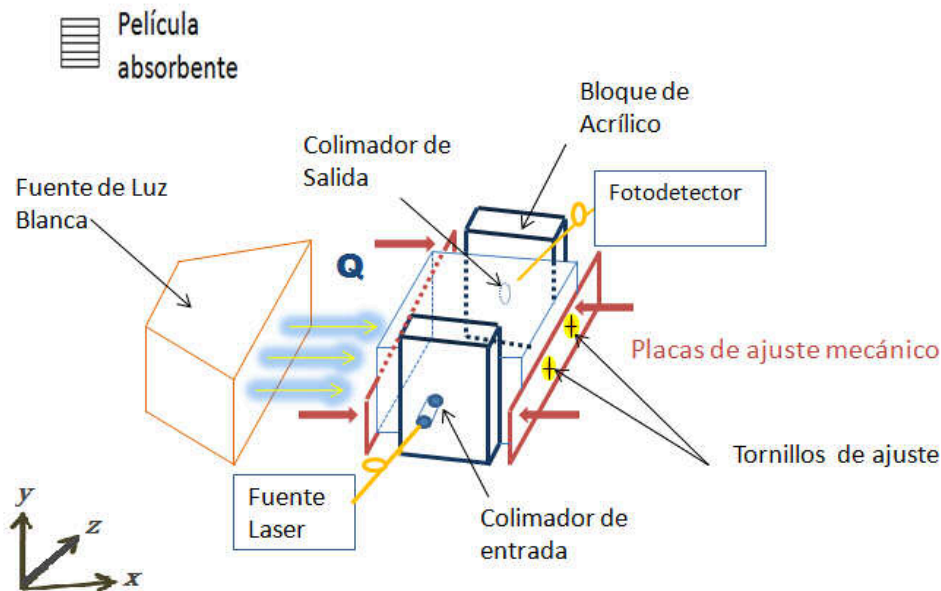


Figura 2.4. Esquema del sensor de flujo de calor con trayectoria lineal.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

Particularmente en esta configuración de trayectoria lineal, los elementos implicados en el proceso de medición fueron: una fuente láser del distribuidor Thorlabs modelo S1FC1550, que utiliza un diodo láser ML976H6F de InGaAsP con longitud de onda de 1550 [nm] y potencia máxima de salida de 1.85 [mW]. La guía de onda es una fibra óptica monomodal Corning SMF 28 que transmite hasta el colimador de entrada del montaje de colimación U Bench de Thorlabs, cuya exactitud en el ajuste mecánico proporciona una transmitancia mayor del 90%. Los colimadores utilizados fueron F220FC-C de ThorLabs, los cuales presentan una distancia focal de 11.0[mm]. El diámetro de la cintura del haz es de 0.8 [mm] y su ángulo total de divergencia es 0.118°. De esta manera la señal es transmitida por la fibra y atraviesa el bloque de acrílico para llegar al colimador de salida. Se utilizó una fuente de luz blanca (lámpara que utiliza un foco de 50 W con control para ajuste de intensidad). La potencia entregada fue medida con un medidor de termopila Melles Griot 13PEM001, suministrando de 1.089 a 2.892 [mW/cm²].

2.1.3 Resultados Experimentales

El montaje experimental previamente descrito fue analizado con fines de cuantificar el ruido mecánico, la metodología utilizada se reporta en el apartado siguiente. Posteriormente en los siguientes apartados, se presentan algunas pruebas realizadas para caracterizar y calibrar el sensor de ángulo y el sensor de flujo de calor con trayectoria lineal respectivamente.

2.1.3.1 Caracterización del Ruido Mecánico

Debido a la baja estabilidad mecánica en el prototipo inicial [5], aunado al considerable ruido mecánico (presentado por consecuencia), y de la gran dificultad para alinear perpendicularmente el bloque de acrílico respecto de los colimadores (buscando obtener la menor pérdida de potencia por reflexión), fue necesario diseñar un mecanismo de sujeción del bloque capaz de atenuar estos efectos negativos en el diseño. Este mecanismo consiste en un par de placas que presionan al bloque de acrílico de manera perpendicular al eje óptico del haz, como ya se había mencionado anteriormente. Con ellas se aplica una mejor repartición de la fuerza aplicada al bloque, propiciando que éste no se dañe como ocurría anteriormente, dado que la fuerza no se aplicaba a través de superficies de contacto, si no que únicamente se ejercía en puntos específicos por medio de tornillos de ajuste.

Para llevar a cabo esta prueba de medición de ruido mecánico, se colocó el bloque de acrílico en el soporte U Bench, presionando a éste con las placas antes descritas. Se predeterminó un valor inicial de potencia de la fuente láser, y se monitoreó la señal de salida durante 300 segundos para calcular la relación de señal a ruido(FSR). Este experimento se desarrolló con el sistema de sensado en absoluto reposo y aplicando una presión máxima en los tornillos de las placas de sujeción del bloque. La Fig. 2.5 corresponde a los valores de la medición en el fotodetector con una tasa de 7 muestras por segundo.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

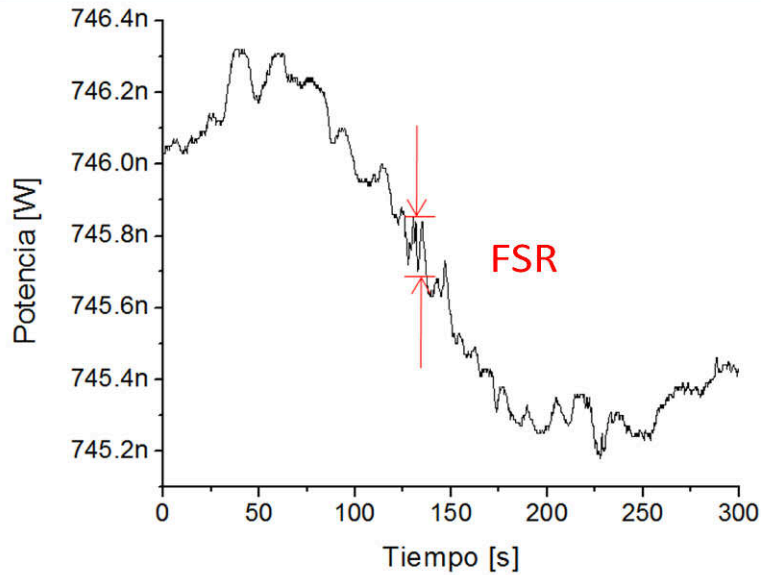


Figura 2.5. Medición de ruido mecánico en condiciones de reposo y presión máxima aplicada a las placas de ajuste mecánico.

El FSR lo calculé utilizando los resultados de la Fig. 2.5. La señal presenta un valor de 746[nW], mientras que el ruido oscila en un valor aproximado de 0.2[nW]. El cociente entre los datos anteriores resulta aproximadamente 3730, siendo este el valor FSR. Anteriormente en el prototipo propuesto en [5], se obtuvo un valor FSR de aproximadamente 250. Esto representa una mejora de 15 veces el valor de esta relación como consecuencia directa a la implementación de las placas de ajuste mecánico. En la fig. 2.6 se presenta la prueba de estabilidad mecánica sin utilizar las placas de ajuste. Esta medición se realizó bajo las mismas condiciones de reposo, utilizando el sistema de colimación U Bench y monitoreando con el mismo bloque de acrílico.

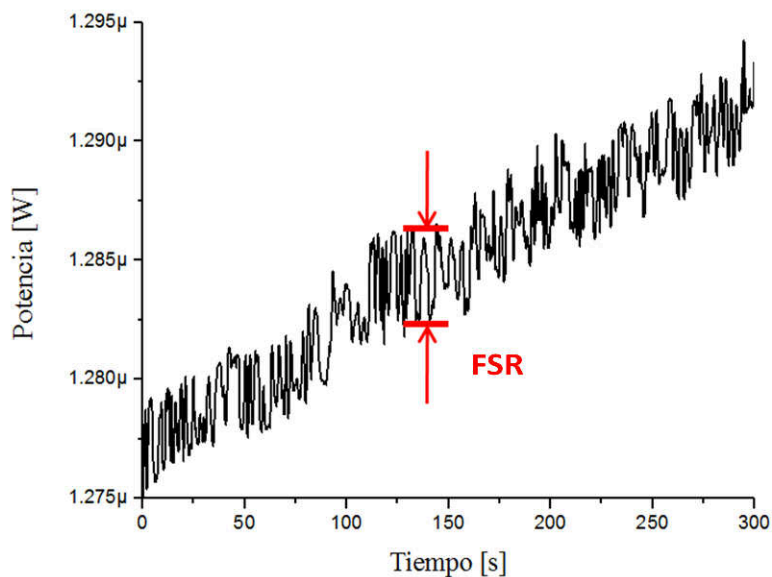


Figura 2.6. Medición de ruido mecánico en condiciones de reposo sin las placas de ajuste mecánico

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

Se puede apreciar en la Fig. 2.6 que la señal es de $1.3 \text{ } [\mu\text{W}]$, y el ruido se presenta en un valor de $5 \text{ } [\text{nW}]$ aproximadamente. Resultando el FSR de 250.

De estas dos mediciones se puede constatar que la presencia de las placas de ajuste mecánico tienen un efecto positivo para el sistema de sensado, ya que el FSR se incrementa 15 veces aproximadamente.

2.1.3.2 Sensor de Ángulo

Al inicio de este capítulo se menciona que la medición de la deflexión fototérmica se realiza utilizando un sensor de ángulo, que está compuesto por dos lentes colimadoras, idénticas, conectorizadas a una fibra óptica monomodal y cuyos ejes ópticos están alineados. Es de trascendental importancia destacar que el modo fundamental de la fibra está representado por una forma gaussiana, misma que se conservará al atravesar la lente de los colimadores, teniendo además un frente de onda plano. (Ver apartado 1.3.1)

Con la finalidad de obtener niveles de referencia en el arreglo del sensor de flujo de calor, se calibró el sensor de ángulo en fibra óptica de manera independiente al sensor de flujo de calor. Para esto se caracterizó el cambio en potencia en el fotodetector proveniente del cambio de intensidad recibida debido a la diferencia del ángulo de incidencia de un haz de luz entre dos colimadores. El primer elemento en el arreglo del sensor de ángulo es la fuente láser de $1550 \text{ } [\text{nm}]$ que suministra la señal al sistema y está conectorizado a una fibra óptica monomodal que llega al colimador de entrada.

Tomando el eje Z como eje de propagación, el plano XZ como plano horizontal y el plano YZ como plano vertical. Se utilizó una platina giratoria graduada con resolución de un minuto de arco que permite el movimiento en el plano XZ. A esta platina se encuentra unida una barra de aluminio desplazada por una platina lineal que se comporta como palanca de giro, es decir, apoyando la fuerza en un punto de la placa que sostiene al colimador de entrada lo hace girar finamente en el plano XZ obteniendo la resolución de un segundo de arco en un rango de aproximadamente $25 \text{ } [\text{seg-arc}]$.

El colimador de salida está montado en una placa sujeta a otra platina de desplazamiento a lo largo del plano YZ. Finalmente, el haz viaja del colimador de salida al fotodetector marca Newport modelo 1930C por medio de fibra óptica.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

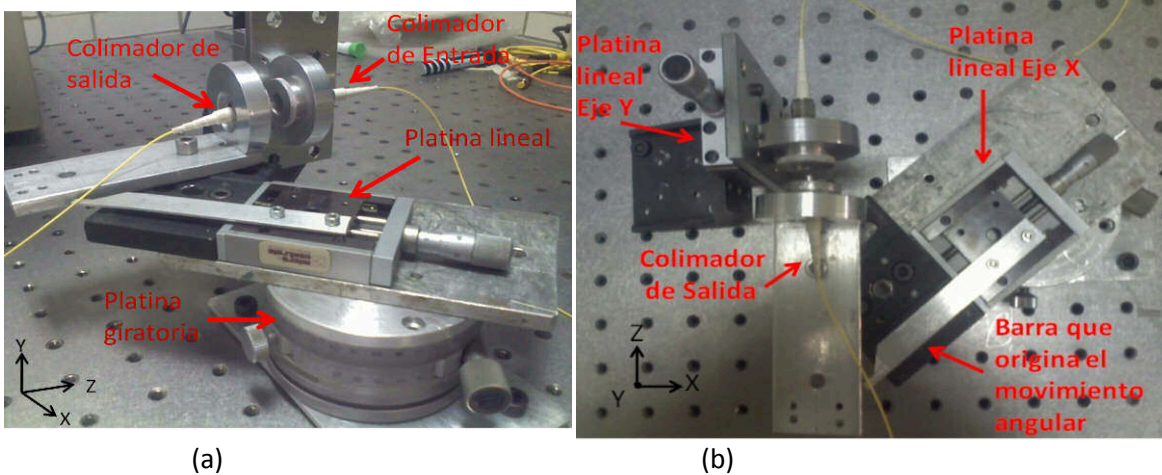


Figura 2.7. Imágenes del montaje experimental de caracterización del sensor de ángulo. (a) Vista lateral del sistema de medición. (b) Vista superior del sistema de medición.

La potencia medida a la salida para el sensor de ángulo puede ser calculada a través del área de recubrimiento de la intersección de las dos curvas gaussianas correspondientes a los perfiles del modo fundamental en dos dimensiones (X-Y) que corresponden al colimador de entrada y de salida. Es necesario indicar que estos perfiles de intensidad están acotados por la circunferencia del área del colimador. Bajo este esquema una deflexión del haz del primer colimador se traducirá en un corrimiento lateral de la imagen proyectada en el plano imagen de la lente del segundo colimador, tal como lo ilustra la Fig. 2.8:

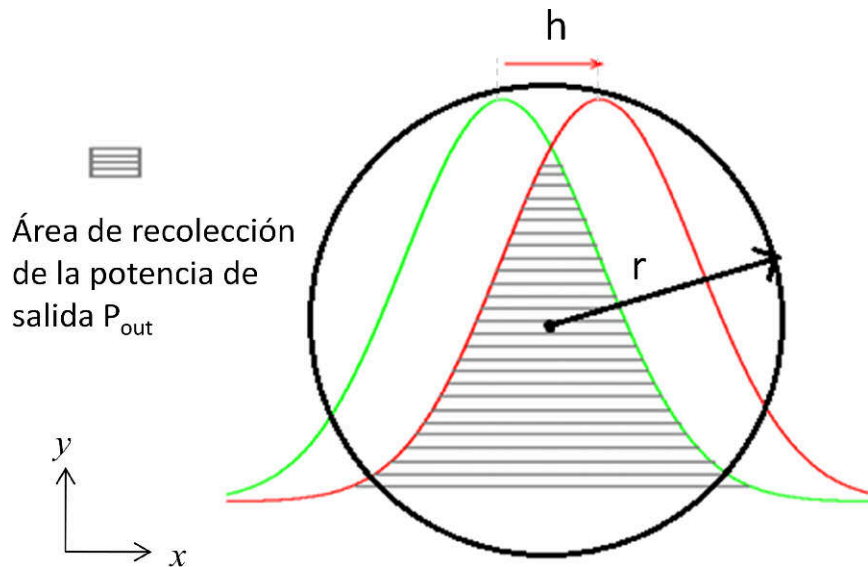


Figura 2.8. Esquema del área de recubrimiento de la intersección de los perfiles gaussianos, desplazados una distancia h , y acotados por el área del colimador de radio r .

La expresión para la potencia de salida (P_{out}), considerando que el haz gaussiano del colimador de salida se desplaza un corrimiento lineal h con respecto al centro del perfil de

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

intensidad del colimador de entrada (como consecuencia de la foto-deflexión), como se muestra en la Fig. 2.8, está en función de la intensidad del haz y se calcula a través de la integral de recubrimiento del haz gaussiano en dos dimensiones (X-Y), acotada por el área de la circunferencia del colimador, se expresa en la siguiente expresión:

$$P_{out} = \iint_A I(x, y) dx dy \quad (2.1)$$

Desarrollando la integral queda de la forma:

$$P_{out} = \int_{-r}^r \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} I_0 e^{-\frac{(x-h)^2+y^2}{\omega_l^2}} dx dy \quad (2.2)$$

Donde ω_l es el diámetro del campo eléctrico para el modo fundamental, r es el radio del núcleo de la fibra I_0 es la intensidad del haz gaussiano.

Dado que la función es constante en el eje Y (debido a que no presenta corrimiento en esta coordenada por que el calor solo es aplicado en X), además de que ésta es simétrica respecto al eje x , los límites de integración se pueden reescribir de la siguiente manera:

$$P_{out} = 2 \int_0^r \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} I_0 e^{-\frac{(x-h)^2+y^2}{\omega_l^2}} dy dx \quad (2.3)$$

$$P_{out} = 2I_0 \int_0^r \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} e^{-\frac{(x-h)^2+y^2}{\omega_l^2}} dy dx \quad (2.4)$$

Aplicando un cambio de variable $t = \frac{y}{\omega}$; $dy = \omega dt$; $y^2 = t^2 \omega^2$, y definiendo la función error complementario:

$$erf(s) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^s e^{-u^2} du \quad (2.5)$$

Podemos reescribir la Ec. 2.4 como:

$$\int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} e^{-\frac{(x-h)^2+y^2}{\omega_l^2}} dy = \frac{\sqrt{\pi}}{2} \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} \frac{2\omega_l}{\sqrt{\pi}} e^{-t^2} dt = \frac{\omega_l \sqrt{\pi}}{2} erf \sqrt{r^2-x^2} \quad (2.6)$$

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

$$P_{out} = 2I_o \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} e^{-\frac{(x-h)^2}{\omega_l^2}} \left(\frac{\omega_l \sqrt{\pi}}{2} \operatorname{erf} \sqrt{r^2-x^2} \right) dx \quad (2.7)$$

Finalmente reduciendo y reacomodando términos, la expresión que se utiliza para el cálculo de la respuesta del sensor de ángulo (potencia de salida) está dada por:

$$P_{out} = I_o \omega_l \sqrt{\pi} \int_{-\sqrt{r^2-x^2}}^{\sqrt{r^2-x^2}} e^{-\frac{(x-h)^2}{\omega_l^2}} \operatorname{erf} \sqrt{r^2-x^2} dx \quad (2.8)$$

Por otra parte, para determinar el diámetro ω_l del haz gaussiano del modo fundamental de una fibra monomodal Corning SMF 28 con un diámetro del campo eléctrico ω_e , se utiliza la siguiente expresión:

$$\omega_l = \frac{\omega_e}{\sqrt{2}} = \frac{10[\mu m]}{\sqrt{2}} = 7.07[\mu m] \quad (2.9)$$

Recordando que el haz gaussiano conserva su forma después de pasar por una lente delgada, la Figura 2.9 muestra como la imagen se proyecta a una distancia focal debido a que se trata de un haz colimado:

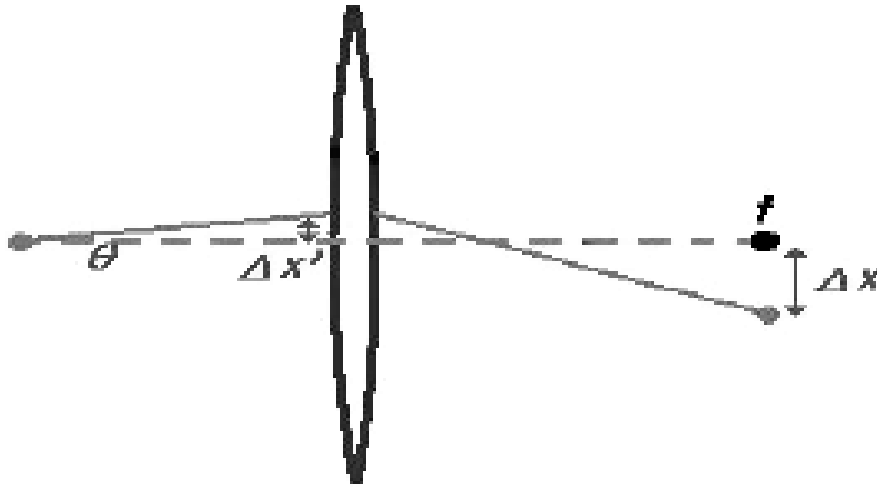


Figura 2.9. Desplazamiento lineal en el plano focal debido a un cambio de ángulo

De la figura 2.9 es posible obtener el ángulo que provoca los desplazamientos mediante la expresión:

$$\Delta x = \theta * f \quad (2.10)$$

Donde θ es el ángulo que se desplaza el haz, $f=4.5[\mu m]$ es la distancia focal y Δx es el desplazamiento en el núcleo de la fibra óptica.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

La evaluación numérica de la Ec. 2.8, que representa la respuesta del sensor de ángulo, se realiza por medio de una programación en Matlab que corresponde al apéndice A de este trabajo de tesis. Con la ayuda de esta herramienta de programación, será posible en el siguiente apartado comparar los resultados experimentales con la curva teórica en la caracterización del sensor de ángulo.

2.1.3.2.1 Caracterización del Sensor de Ángulo

El procedimiento para llevar a cabo la caracterización del sensor de ángulo inició alineando perfectamente los dos colimadores entre sí, respecto del eje de propagación del haz registrando un máximo valor de potencia de salida. Posteriormente se desplazó de manera angular 1 [seg-arc] el colimador de entrada manteniendo fijo el de salida. De esta manera se ocasionaba un decremento de la potencia hasta que la señal monitoreada igualara los valores de ruido. Es importante mencionar que el barrido angular se efectuó en 2 direcciones, por ello se obtuvieron resultados positivos y negativos en el eje de las abscisas, presentando en 0[seg-arc] el máximo valor de potencia de salida. La Fig. 2.10 corresponde a la grafica de los datos obtenidos.

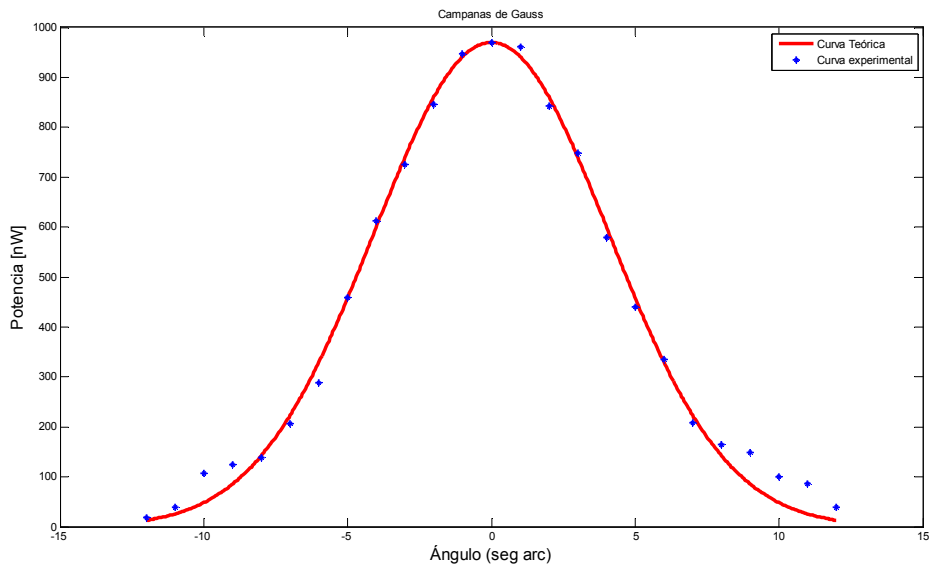


Figura 2.10. Respuesta del sensor de ángulo. Comparación de la curva experimental con la teórica.

Satisfactoriamente se aprecia que la resolución del sensor de ángulo fue incrementada 60 veces respecto del prototipo inicial, es decir ahora se puede medir en incrementos de 1[seg arc]. Por otro lado, este sistema es más estable ante el ruido mecánico, aunado a que el control del barrido angular es más sencillo y exacto.

Finalmente, se realiza una linealización de la respuesta del sensor de ángulo por medio de un cambio de variable(se aplica un logaritmo a la expresión exponencial para obtener un

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

modelo lineal). La Fig. 2.11 corresponde esta recta de aproximación lineal de la respuesta del sensor de ángulo, a partir de ella se obtiene una pendiente de $114 \text{ [(seg-arc)/nW]}$ que corresponde a la sensibilidad del dispositivo. Además el sensor de ángulo presenta una resolución es 1 [seg-arc] y el rango en el que opera es de 24 [seg-arc] .

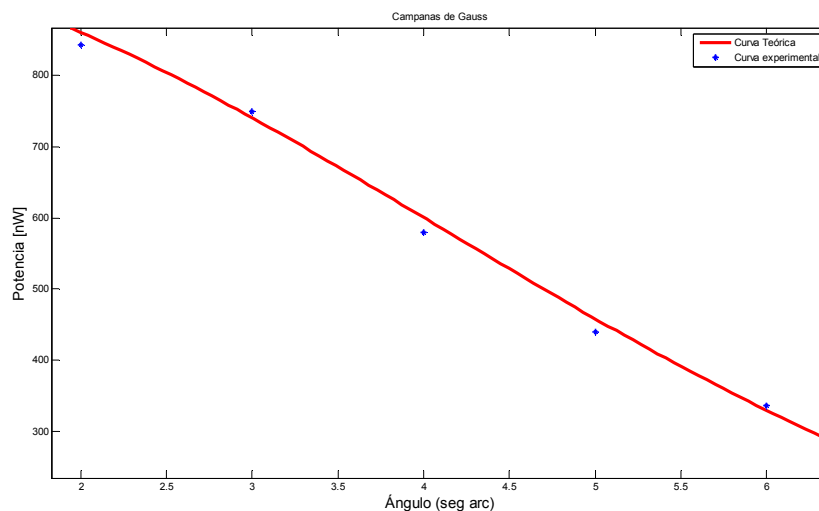


Figura 2.11. Recta de linealización de los valores experimentales de la curva de respuesta del sensor de ángulo

Basado en la recta de linealización de los valores experimentales de la respuesta del sensor de ángulo, obtengo una sensibilidad de 14 [nW/seg-arc] .

2.1.3.3 Medición de flujo de calor con trayectoria lineal

Esta prueba consistió en medir la potencia de salida aplicando flujo de calor de $2.214 \text{ [mW/cm}^2\text{]}$. La medición daba inicio colocando el bloque de acrílico a una distancia de 45 [mm] de la lámpara, posteriormente se ajustaba la posición del bloque dentro del U-bench para obtener el máximo de transmitancia de la señal. La posición del bloque de acrílico era ajustada en el plano XZ mediante el ajuste de los cuatro tornillos unidos a las superficies laterales de la montura, por lo que se buscaba una posición totalmente ortogonal entre el haz incidente y la cara del bloque de acrílico. Posteriormente se iniciaba las pruebas de flujo de calor, para ello la fuente de calor fue encendida a los 150 [s] y apagada a los 560 [s] . Cada medición finalizaba a los 1200 [s] , no obstante se dejó un periodo de recuperación para que la señal regresara al nivel del punto de referencia para poder realizar la siguiente medición.

Posteriormente, realicé una prueba de repetibilidad con 5 monitoreos de la respuesta del sensor de flujo de calor en trayectoria lineal, buscando obtener la misma respuesta ante estímulo inicial bajo las mismas condiciones.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

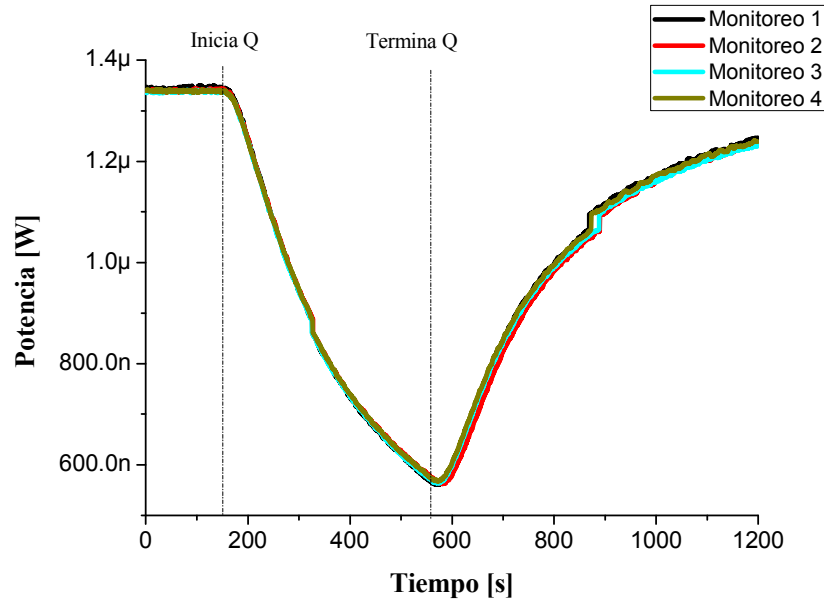


Figura 2.12: Respuesta del sensor de flujo de calor a un pulso de calor $Q=2.214[mW/cm^2]$

La Fig. 2.12 anterior describe la respuesta del sensor de flujo de calor en trayectoria lineal cuando se le aplica un pulso de $Q=2.214[mW/cm^2]$. Inicialmente se determinó esperar 150[s] antes de encender la fuente de luz, para monitorear la estabilidad de la fuente láser. Posteriormente, cuando se enciende la lámpara de luz blanca que ocasiona la deflexión del haz dado el gradiente de temperatura ocasionado por el efecto fototérmico, la potencia de salida sufre un decremento en su valor, incluso después de los 560[s](cuando se apaga la fuente de luz), debido a la inercia térmica que se presenta en el bloque de acrílico. Por último, cuando el bloque cede calor a su entorno, el haz comienza a corregir el ángulo de desviación y ocasiona por ende el aumento gradual del valor de la potencia de salida.

2.1.3.4 Calibración del sensor de flujo de calor con trayectoria lineal

Para calibrar el sensor se efectuó nuevamente el procedimiento de la medición anterior, ahora aplicando diferentes valores de flujo de calor, es decir, en la prueba anterior se aplica un flujo de calor constante de $2.214[mW/cm^2]$ y en ésta calibración se aplican flujos de calor en el rango de $2.446-1.089[mW/cm^2]$. Cabe mencionar que la fuente de luz que foto-excita la película absorbente, fue encendida a los 10[s] después de iniciar la adquisición de datos y concluía a los 420[s], de esta manera se conserva el intervalo de tiempo en el que se suministra calor al sistema. El tiempo reducido corresponde a la inmediata estabilidad de la fuente láser. También para estas mediciones se respetó el tiempo de recuperación de la señal antes de iniciar nuevamente con el monitoreo. La Fig. 2.13 presenta las curvas de respuesta de esta prueba.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

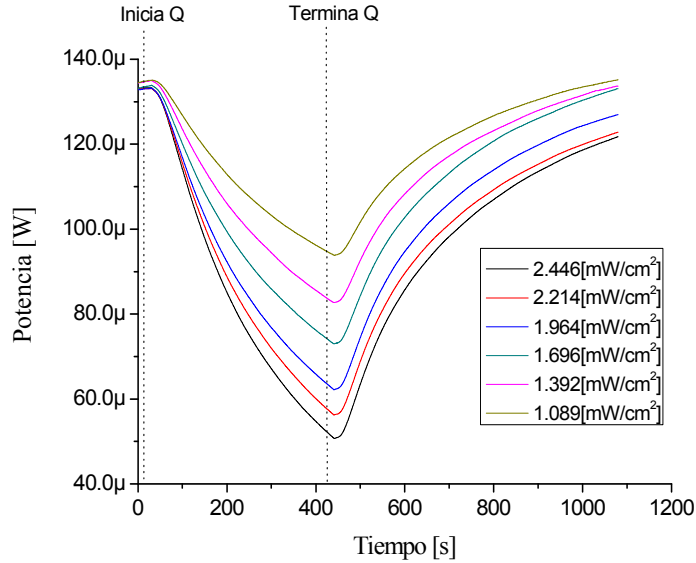


Figura 2.13: Curva de respuesta para diferentes valores de flujo de calor aplicados al sistema.

De esta figura se aprecia que el flujo de calor aplicado es inversamente proporcional a la potencia de salida, esto significa que el valor de la potencia decrece con mayor rapidez cuando se aplica un flujo de calor mayor.

Con el objetivo de graficar una curva de calibración del sensor de flujo de calor con trayectoria lineal, determiné el intervalo de tiempo de la prueba para el cuál, la pendiente adquiere un valor máximo para los diferentes niveles de flujo de calor aplicado. Este intervalo se estableció de los 60[s] a los 180[s] del experimento.

En la figura 2.14 se grafica la curva de calibración, debido a que conozco el flujo de calor aplicado en cada curva, que corresponde a una determinada variación de potencia en el intervalo de tiempo antes establecido:

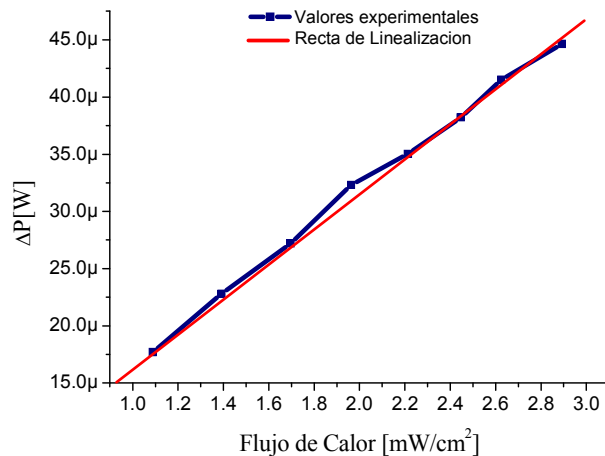


Figura 2.14. Recta de calibración del sensor de flujo de calor.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

Finalmente de los resultados experimentales del Sensor de Flujo de Calor para un rango de 1.089 - 2.892 [(mW)/cm²], se obtiene una sensibilidad de 15.495[μ W/(mW/cm²)] (pendiente de la recta de calibración) y una resolución de 0.3[(mW)/cm²].

2.2 Limitaciones del Sensor de Flujo de Calor

Gran importancia recae en este apartado dentro del Capítulo 2, debido a que una vez caracterizado y calibrado el sensor de flujo de calor es posible determinar sus limitaciones experimentales que serán el enfoque central de la optimización del sistema, y basado en ellas se diseñará un sensor de flujo de calor con mayor sensibilidad y en general, más eficiente, que se describirá el capítulo 3.

Por otra parte, la sensibilidad fue mejorada respecto a trabajos previos[5] y sería posible incrementarla proporcionalmente si el camino óptico se prolongara notablemente sin perder de vista uno de los focos centrales del proyecto, que es reducir las dimensiones del sensor. Para ello será necesario diseñar un nuevo prototipo donde el haz recorridos múltiples dentro del área del bloque de acrílico a través de la reflexión de éste en las paredes de entrada y salida del bloque.

2.3 Conclusiones del capítulo

En el presente capítulo se mejoró y caracterizó un nuevo sensor de flujo de calor en trayectoria lineal que presenta una mayor estabilidad al ruido mecánico, obteniendo un factor señal a ruido FSR=3730. Anteriormente en el prototipo inicial[5], se alcanzó un valor FSR=250, lo que representa una mejora de 15 veces el valor de esta relación, y esto se debe a la implementación de las placas de ajuste mecánico.

También se caracterizó un sensor de ángulo mejorando 6000% la resolución respecto del prototipo anterior[5], es decir, anteriormente el sistema era capaz de detectar variaciones de potencia en incrementos del orden de un minuto de arco, mientras que en el actual diseño, el sensor alcanzó una resolución de un segundo de arco. En cuanto a la sensibilidad de este dispositivo se obtuvo un valor de 140[nW/seg-arc] en un rango de 24[seg-arc] y una resolución de 1[seg-arc].

El sensor de flujo de calor con trayectoria lineal propuesto en éste capítulo, opera en un rango de 1.089 a 2.892 [mW/cm²], con una sensibilidad de 15.495[μ W/(mW/cm²)] y una resolución de 0.3[mW/cm²]. El porcentaje de variación de potencia que presenta en el intervalo de tiempo de la pendiente máxima es del 11%. Este último valor porcentual es de suma importancia en el proyecto, ya que posteriormente se utilizará como referencia para determinar la magnitud de la optimización en cuanto a la sensibilidad que presentará la configuración final del sensor.

2. SENSOR DE FLUJO DE CALOR CON TRAYECTORIA LINEAL

Finalmente concluyo en que existe una posibilidad de optimizar el desempeño de este sensor implementando una configuración de múltiples reflexiones internas en el bloque de acrílico utilizando una película reflejante depositada en ambas caras del bloque. Esto produciría un incremento considerable de la sensibilidad del sensor de forma proporcional a la distancia recorrida por el haz incidente. Además sería viable la reducción en las dimensiones del bloque, lo cual culminaría con un diseño más compacto, de sensibilidad superior y por ende más rápido.