

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SENSOR DE FLUJO DE CALOR EN CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES RELEXIONES

3.1 Características del sensor en configuración de reflexión múltiple

En este capítulo se presenta una nueva configuración en el diseño del sensor de flujo de calor, en el cual se incrementa la sensibilidad y se reducen las dimensiones físicas del sistema. Para ello, fueron modificadas las limitaciones del prototipo del capítulo anterior, y se dio lugar a una configuración en donde el haz incidente realiza reflexiones múltiples dentro del bloque de acrílico. Esto nos condujo a prolongar el camino óptico recorrido por el haz en un espacio menor, dando como resultado el incremento de la sensibilidad. Además se muestra la calibración del sensor de flujo de calor en esta nueva configuración y finalmente se presenta un ejemplo en la medición de tejido biológico (muestra hepática de aviar).

3.1.1 Esquema de la configuración de reflexiones múltiples

La característica fundamental del sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones se reduce a modificar el ángulo de entrada del haz incidente, posteriormente lograr que éste se refleje en las 2 superficies paralelas del bloque de acrílico (plano XY) las cuales deben estar metalizadas para alcanzar la máxima reflexión (Fig. 3.1). Será necesario que se efectúen varias iteraciones de este efecto con el fin de alcanzar la máxima distancia de la trayectoria del haz, y de esta manera aumentar la sensibilidad del dispositivo de manera proporcional en que se incrementa la distancia recorrida por el láser con respecto al diseño de trayectoria lineal.

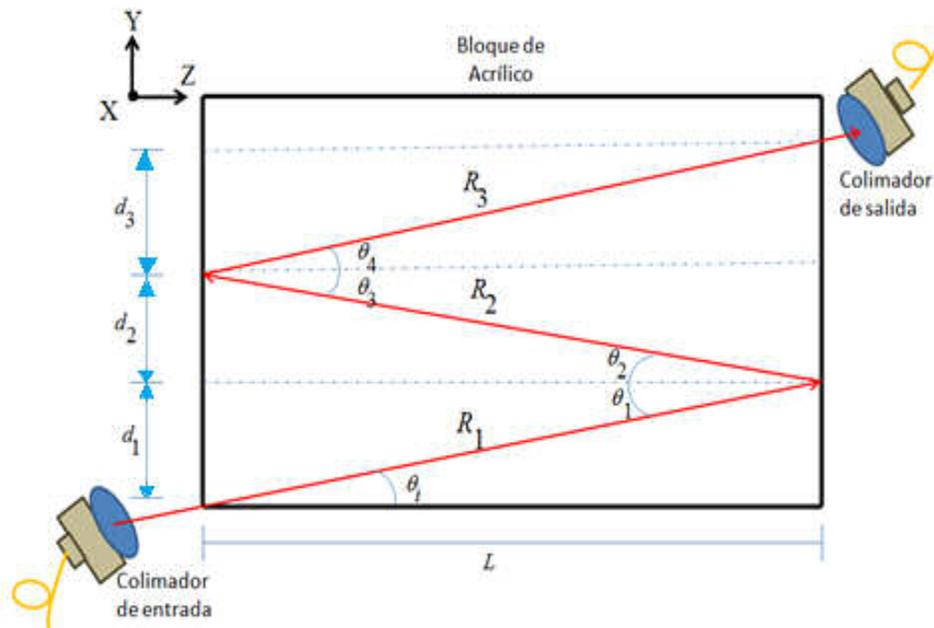


Figura 3.1 Esquema de la geometría que describe el recorrido del haz de luz en el sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones.

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

Para explicar este fenómeno de reflexión, es necesario citar la ley de Snell: "Cuando un haz de luz incide sobre la superficie que separa dos medios, en los cuales la luz se propaga con diferentes velocidades, parte de la misma se transmite y parte se refleja, como se indica esquemáticamente en la Fig. 3.1. Para un medio cualquiera, el índice de refracción η se define como:

$$\eta = \frac{c}{v} \quad (3.1)$$

donde c es la velocidad de la luz en el vacío y v la velocidad de la luz en ese medio[9]."

Finalmente la Ley de Snell se expresa de la siguiente forma:

$$\eta_1 \sin \theta_i = \eta_2 \sin \theta_t \quad (3.2)$$

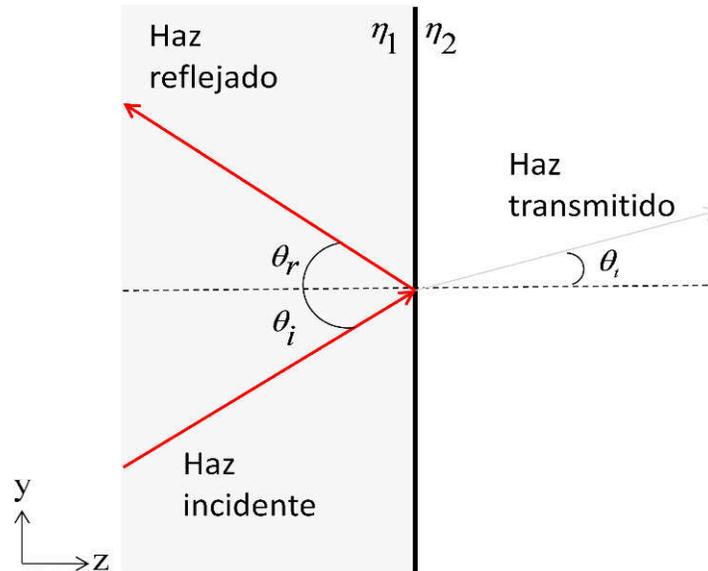


Figura 3.2 Esquema de la ley de Snell.

Retomando la Fig. 3.1 y considerando la ley de Snell, se logra apreciar que el ángulo incidente θ_i conservará su valor en las subsiguientes reflexiones, debido a que la recta normal (lineal punteada de la Fig. 3.1) siempre conservará su posición perpendicular a las caras paralelas correspondientes al plano XY del bloque de acrílico, esto es:

$$\theta_i = \theta_1 = \theta_2 \dots = \theta_m \quad (3.3)$$

Donde: m es el número de reflexiones internas.

Cumpléndose entonces para la primera reflexión:

$$R_1 = \frac{L}{\cos(\theta_i)} \quad (3.4)$$

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

Donde: R_1 es la distancia que recorre el haz en la primera reflexión
L es la longitud del bloque en el Eje Z
 θ_i es el ángulo de entrada del haz incidente

La longitud total que recorrerá el haz en las siguientes reflexiones se describe por:

$$R_m = \frac{L}{\cos(\theta_1)} + \frac{L}{\cos(\theta_1)} + \dots + \frac{L}{\cos(\theta_m)} \quad (3.5)$$

$$R_m = m \frac{L}{\cos(\theta_i)} \quad (3.6)$$

$$R_m = mR_1 \quad (3.7)$$

Con la expresión 3.7 queda demostrado analíticamente que el camino óptico del haz se incrementará un número de veces m igual al total de reflexiones internas que se efectúen. Se espera que esto mismo se suscite en cuestiones de sensibilidad, es decir, que aumente proporcionalmente al camino óptico.

Con la finalidad de automatizar este cálculo, del cual se proyectarán las dimensiones finales del sistema, además de precisar el ángulo de entrada del haz así como el número óptimo de reflexiones internas para las dimensiones determinadas, procedí a programar en Matlab el algoritmo propuesto (Apéndice B), como una herramienta adicional para el diseño de un sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones.

El programa compilado en Matlab, inicialmente indica las dimensiones del bloque con perspectiva desde plano YZ; posteriormente solicita al usuario que ingrese el ángulo de entrada del haz incidente con respecto al eje horizontal Z, calculando y determinando de manera automática el número de reflexiones totales, la distancia total de la trayectoria del haz, así como también muestra la distancia del plano Y (altura) donde se efectuará la última reflexión con el fin de colocar a esa altura el colimador de salida para recuperar la señal.

3.1.2 Montaje experimental

El sistema de sensado sigue contando con los mismos elementos mostrados para el diseño anterior, esto es: la señal láser es emitida por la fuente láser S1FC1550 de Thorlabs con una longitud de onda de 1550 [nm]; utilicé fibra óptica monomodal Corning SMF 28 como guía de onda de la señal, sin embargo, a diferencia del sistema anterior, uno de los colimadores fue sustituido, específicamente el colimador de entrada, ahora es de la marca Newport modelo F-COL-9-15-FCAPC con un diámetro del haz < 0.5 [mm] y un ángulo de divergencia de 0.25° . El diámetro del colimador es de 10.5[mm]. El colimador de salida es el modelo F220FC-C de la marca ThorLabs, que cuenta con un diámetro del haz de 0.8 mm y

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

con ángulo total de divergencia de 0.118° . Por otra parte, el fotodetector utilizado es de la marca OZ optics, montado con cabeza de sensado de InGaAs para la detección el espectro NIR-IR(Near Infrared - Infrared). Además cuenta con interfaz a la PC con la finalidad de efectuar la adquisición de datos, con una tasa de 7 muestras por segundo.

Inicialmente se tenía previsto que las caras del bloque correspondientes al plano XY fueran metalizadas con un depósito por evaporación de aluminio, pero este procedimiento no fue montado por problemas de logística. Para sustituir esta característica del sensor, fueron colocados un par de espejos de alta reflectancia (capacidad de las superficies de reflejar la luz, y se define por la relación entre el flujo luminoso reflejado y el flujo luminoso incidente), con el objetivo de ocasionar las reflexiones internas del haz incidente. La reflectancia presentada por los espejos es del 46%, mientras que existe un total de pérdidas de potencia del 57% en el sistema de sensado. Estas pérdidas corresponden a la deficiencia en el acoplamiento de los elementos (pérdidas por reflexiones debido a la alineación no ortogonal del bloque respecto del eje de transmisión, colimadores con mala divergencia, alineación del colimador de salida respecto de la trayectoria del haz, etcétera...).

Es de suma importancia destacar 3 condiciones que se debieron cumplir experimentalmente para establecer las dimensiones del sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones buscando que el haz efectúe el máximo número de reflexiones. Estas condiciones son:

- La distancia “b” en la Fig.3.1 debe ser mayor de 10.5[mm], es decir, que esta supere la altura del colimador de entrada, y posteriormente pueda incidir en el espejo para continuar con las reflexiones internas. Para ello será necesario modificar el ángulo θ_i de entrada del haz incidente.
- El bloque debe presentar las dimensiones para conservar la distancia de 4.5[mm] en el eje X entre el haz incidente y la fuente de calor (cara del bloque con película absorbente). Cabe señalar que si ésta se modifica respecto del diseño del capítulo anterior, no será posible realizar una comparación entre ambos modelos en cuestiones de sensibilidad. Para garantizar esta condición, el bloque será tan ancho como el diámetro del colimador de entrada.
- Debida a la gran pérdida de potencia que se ocasiona por los espejos, será conveniente prolongar las dimensiones del bloque en el eje Z , es decir, la distancia L de la Fig. 3.1 y realizar un número menor a 5 reflexiones. Es decir, lograr el camino óptico mayor con el menor número de reflexiones.

Las dimensiones del bloque de acrílico fueron establecidas con la ayuda del programa del Apéndice B, y finalmente resultaron: 25[mm] en dirección del eje Z , 10[mm] en el eje Y , 10[mm] que corresponden al eje X . Una de las características primordiales en este nuevo

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

diseño es una extensión superior horizontalmente respecto a su altura (eje Y) y profundidad (eje X), esto se debe a que se eligió aumentar la trayectoria óptica en la mínima cantidad de reflexiones, ya que la señal presentaba pérdidas notorias cada vez que el haz se reflejaba con las paredes internas del bloque debido a la calidad de los espejos. Sin embargo, esto será corregido si se aumenta la reflectancia de los espejos con un depósito directo de aluminio.

En cuanto a la fuente de calor para este sistema de sensado, se decidió teñir de negro una de las caras axiales del bloque de acrílico (plano YZ) para ser excitada por efecto fototérmico con la lámpara utilizada en el diseño previo. Finalmente se eligió proyectar un sensor que ejecutara 3 reflexiones internas, presentando un ángulo de entrada del haz incidente de 7° respecto al plano horizontal, con una longitud de la trayectoria total de 75.5 [mm], mientras que la altura en la que el haz se refleja por tercera ocasión es de 9.2 [mm]. La Fig. 3.3 muestra las características descritas:

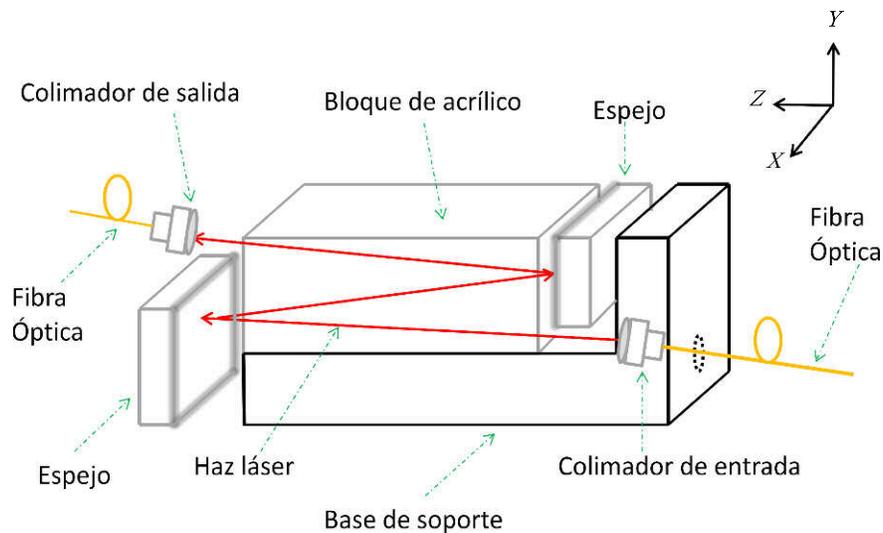


Figura 3.3. Esquema del montaje experimental del sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones.

3.1.3 Ajuste mecánico

Un aspecto fundamental para la detección de la señal de salida es la perfecta alineación entre ambos colimadores, debido a que el haz mantiene un ángulo de inclinación respecto al eje Z a lo largo de la trayectoria que describe, fue necesario montar el colimador de salida a una platina de desplazamiento lineal en el eje Y , garantizando así la altura adecuada, además el montaje cuenta con una platina giratoria con resolución de 1 [min-arc] que proporciona la resolución necesaria para alinear el haz de salida en la lente colimadora (Fig.3.4). También fue necesario que el bloque de acrílico fuera sujetado a una base diseñada para proporcionar un contacto perfecto con los espejos de alta reflectancia (adheridos a la misma base), lo que provocaría las reflexiones internas del haz. La base contiene un barreno donde se posiciona el colimador de entrada en un ángulo de 7° respecto al eje horizontal Z .

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

Además el conjunto base – bloque de acrílico se encuentran colocados sobre una platina lineal que permite la alineación respecto al eje X .

Para completar el montaje experimental, se incorporó al sistema de sensado antes descrito, la fuente de luz utilizada en el diseño anterior, que funge como la fotoexcitación que produce el efecto fototérmico. Recordemos que una de las caras del bloque, correspondiente al plano YZ contiene una película absorbente negra.

La Fig. 3.4 ilustra una fotografía del montaje experimental e incluye los elementos de ajuste mecánico.

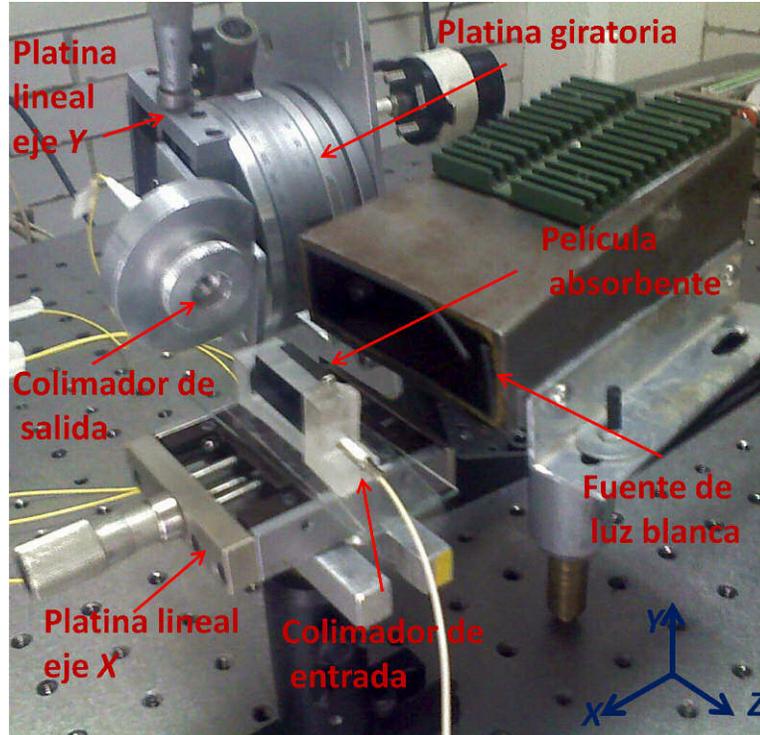


Figura 3.4. Montaje experimental del sistema de sensado completo para el sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones.

3.2 Resultados Experimentales

Utilizando el montaje experimental descrito e ilustrado anteriormente, realicé pruebas de calibración del sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones. A continuación se presenta la descripción detallada de los procedimientos de medición y la calibración del dispositivo:

3.2.1 Medición de Flujo de Calor

La medición inició encendiendo la fuente de calor a los 10[s] con una duración de 410[s] aplicando $8[\text{mW}/\text{cm}^2]$. La distancia entre el bloque de acrílico y la fuente de luz es de 45[mm]. Una vez transcurrido este intervalo de tiempo, la lámpara se apagó (420[s]) y se aguardó hasta completar los 800[s] para finalizar la medición. Este procedimiento fue

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

efectuado 4 veces para realizar la prueba de repetibilidad en el monitoreo del flujo de calor. Cabe señalar que se consideró el tiempo suficiente entre cada medición, para que la señal de entrada retomará su valor inicial y continuar con el siguiente monitoreo.

Los resultados correspondientes al procedimiento descrito se grafican en la Fig. 3.5:

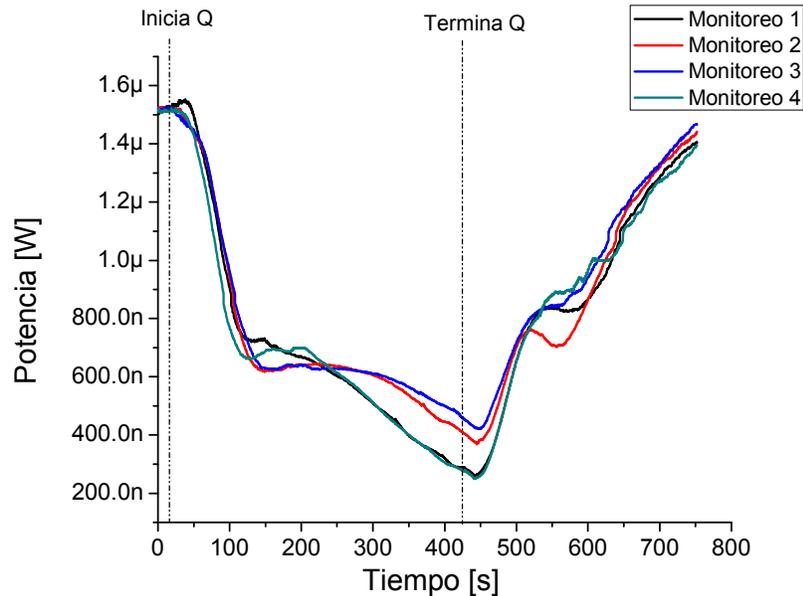


Figura 3.5. Curva de respuesta del sensor en configuración de múltiples reflexiones para un flujo de calor aplicado de $8 \text{ [mW/cm}^2\text{]}$.

Manteniendo el intervalo de tiempo de 410[s] en que la fuente de calor se encuentra encendida, la potencia sufre un decremento mayor con el sensor de múltiples reflexiones respecto del prototipo inicial con trayectoria lineal, esto es, la variación de potencia en la configuración actual presenta una disminución de potencia del 80% , mientras que en la del capítulo anterior sólo disminuye 45% aproximadamente. Otro punto que puedo destacar, es que el intervalo de tiempo en el que la pendiente toma su valor máximo ha disminuido, siendo ésta una ventaja, que indica que el nuevo diseño del sensor de flujo de calor detecta variaciones de potencia con mayor rapidez. Además la pendiente de la recta ha sido incrementada en esta nueva configuración manteniendo constante la distancia entre la fuente de calor y el haz incidente (45[mm]).

3.2.2 Calibración del sensor en la configuración de múltiples reflexiones

La calibración del sensor es parte medular de este proyecto, debido a que la gráfica resultante permite establecer el rango dinámico, y además se convierte en una herramienta indispensable para calcular la sensibilidad del sistema, siendo ésta la pendiente de la recta de linealización de la respuesta del sensor para diferentes valores de flujo de calor aplicado, de la misma forma en que se describió en el apartado 2.1.3.4.

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

Para alcanzar este fin, realicé mediciones donde se varió el valor del flujo de calor aplicado. Específicamente se efectuaron 4 monitoreos, cada uno con diferentes niveles, donde se esperaba que la variación de potencia disminuyera o se incrementara de manera proporcional al valor del flujo de calor aplicado en el mismo intervalo de tiempo. Nuevamente la fuente de calor es encendida durante los primeros 410 [s] de la medición, posteriormente se apaga con fines de monitoreo de la señal mientras se recupera hasta llegar a los 800[s], concluyendo así el experimento.

La Fig. 3.6 corresponde a la representación de los datos de este experimento obtenidos para cuatro pulsos de calor entre 3.3 – 8 [(mW)/cm²]:

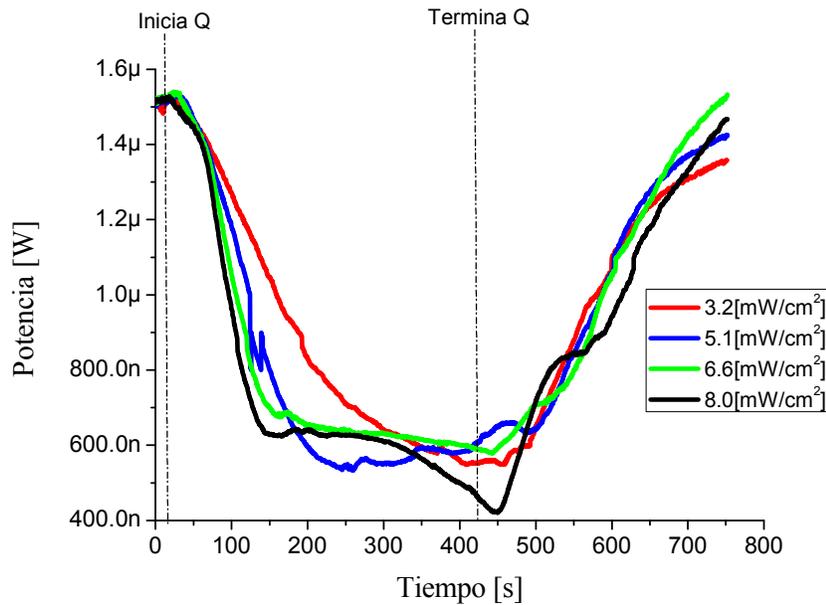


Figura 3.6 Curvas de respuesta del sensor en configuración de reflexiones múltiples para diferentes valores de flujo de calor aplicado.

La Fig. 3.6 indica que se mantiene la tendencia obtenida para la configuración lineal del capítulo 2, donde la potencia de salida sufre un decremento de valor proporcional al calor del flujo de calor aplicado, es decir, la pendiente de la disminución del valor de potencia es mayor cuando se aplica un flujo de calor más significativo, de igual manera esta prueba se realizó en el mismo intervalo de tiempo en que la fuente de calor es accionada.

Posteriormente, se analizan los datos de la Fig. 3.6 con el siguiente procedimiento:

- Se establece un intervalo de tiempo para el cual se presenta la pendiente crítica (donde toma su mayor valor). Cabe mencionar, que este intervalo será el mismo para todas las curvas consideradas en la calibración.
- Se calcula la diferencia de potencia de la señal de salida para cada flujo de calor aplicado que le corresponde.

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

La tabla 3.1 correspondiente a los datos de la calibración del sensor de múltiples reflexiones se muestra continuación:

	Flujo de Calor [mW/cm ²]	t ₁ [s]	t ₂ [s]	ΔP [W]	Δt[s]
Q1	3.284	40	90	200E-09	50
Q2	5.115	40	90	290E-09	50
Q3	6.677	40	90	360E-09	50
Q4	8.0	40	90	420E-00	50

Tabla 3.1. Datos de calibración del sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones

Para concluir con la calibración del sensor de flujo de calor en configuración de reflexiones múltiples, se graficaron los datos contenidos en la Tabla 3.1. El eje de las abscisas corresponde al flujo de calor aplicado, mientras que el eje de las ordenadas está dado por la variación de potencia de la señal de salida. Se realizó una linealización de los datos utilizando el método de mínimos cuadrados. La pendiente de la recta de linealización corresponderá a la sensibilidad del dispositivo con la configuración actual. La recta de calibración se ilustra en la Fig. 3.7:

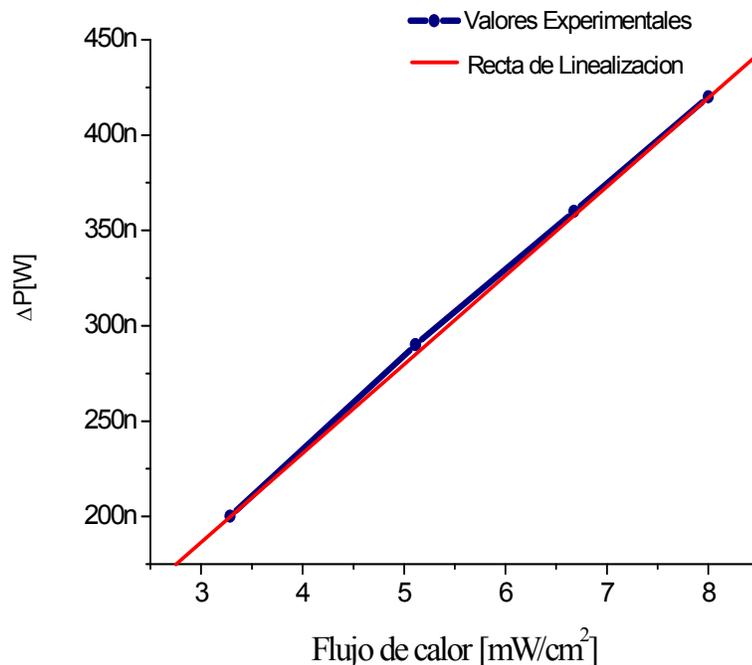


Figura 3.7 Recta de calibración de los valores experimentales de la respuesta del sensor en configuración de reflexiones múltiples para diferentes flujos de calor aplicado.

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

Finalmente, con la Fig. 3.7 culmina la calibración del sensor y ésta sirve como herramienta para obtener los parámetros de funcionamiento del sensor, que se resumen de la siguiente manera:

- Sensibilidad = $46.65[\mu\text{W}/(\text{mW}/\text{cm}^2)]$
- Rango dinámico = $3.0 - 9.0[\text{mW}/\text{cm}^2]$
- Resolución = $0.4 [\text{mW}/\text{cm}^2]$

3.3 Medición de flujo de calor en tejido hepático aviar

Uno de los objetivos finales es efectuar mediciones de flujo de calor en tejidos orgánicos, siempre que los parámetros de nuestro diseño fueran apropiados para la detección de las propiedades térmicas a medir. Sería de trascendental importancia contar con estos datos, ya que de ser así, en un futuro se podrían caracterizar y utilizar el sensor de flujo de calor para detectar enfermedades del hígado como la cirrosis.

Se ha planteado un objetivo inicial para este nuevo experimento, el cual es determinar si el sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones tiene la suficiente sensibilidad para detectar cambios en las propiedades térmicas del tejido. Si este monitoreo se realiza exitosamente, se buscará un patrón para interpretar los resultados. El experimento se llevará a cabo particularmente utilizando una muestra hepática aviar.

El nuevo sistema de medición de flujo de calor está basado en los montajes experimentales de las pruebas anteriores, dado que los colimadores, la fuente láser y el fotodetector son idénticos al sistema de sensado de la Fig. 3.3. El elemento que marca la diferencia en esta prueba, es sustituir la película absorbente excitada por la fuente de calor regulada (Fig. 3.4) por una incisión de tejido (rebanada delgada de hígado de pollo fresco) que mantendrá una temperatura constante en la primera prueba (temperatura estática), y que aumentará gradualmente su valor en la segunda prueba (temperatura dinámica). Para controlar la temperatura en la superficie de la muestra, se fijó una placa de aluminio que presionaba al tejido contra la pared del bloque de acrílico, y ésta a su vez era calentada por un cautín eléctrico. Sin embargo, fue necesario utilizar un controlador de temperatura PID de la marca Emko modelo ESM-4420, el cual incorpora un termopar tipo J. Se muestran fotografías de este montaje en la Fig.3.8:

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

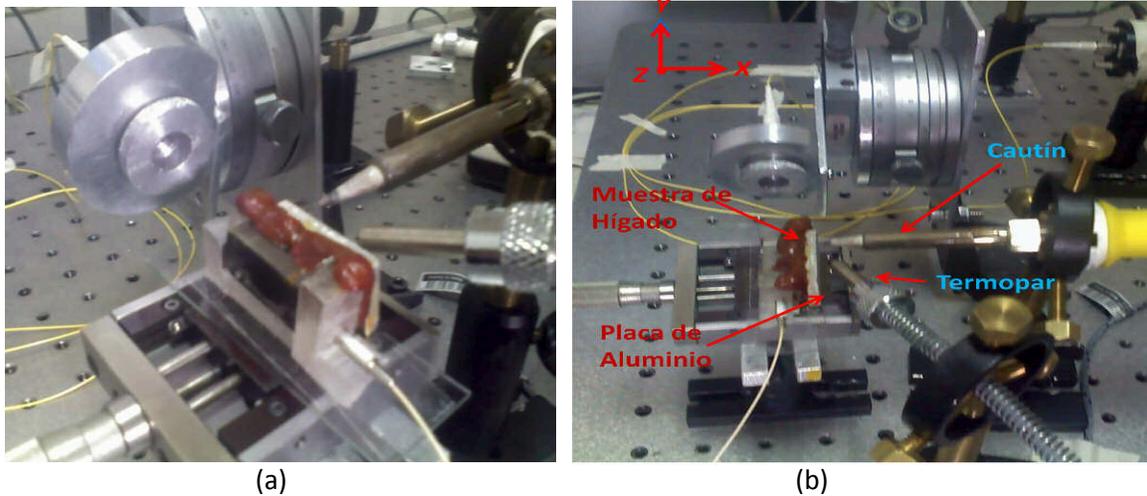


Figura 3.8. Imágenes del montaje experimental para las pruebas con Hígado. (a) Vista diagonal. (b) Vista superior.

El procedimiento de medición de la prueba estática se llevó a cabo colocando la muestra de tejido presionada contra el bloque de acrílico los primeros 410[s], recordando que en este caso el flujo de calor se establece por la diferencia de temperatura entre las caras planas del bloque de acrílico, es decir, una se encuentra a temperatura ambiente y la otra se encuentra a la temperatura de la muestra hepática. Posteriormente, la placa de aluminio y el cautín fueron retirados del sistema para monitorizar la recuperación de señal, que físicamente representa el efecto cuando el haz incidente retoma el camino óptico original al corregir la desviación en su trayectoria originada por el enfriamiento. La Fig. 3.9 corresponde a los datos localizados de este monitoreo:

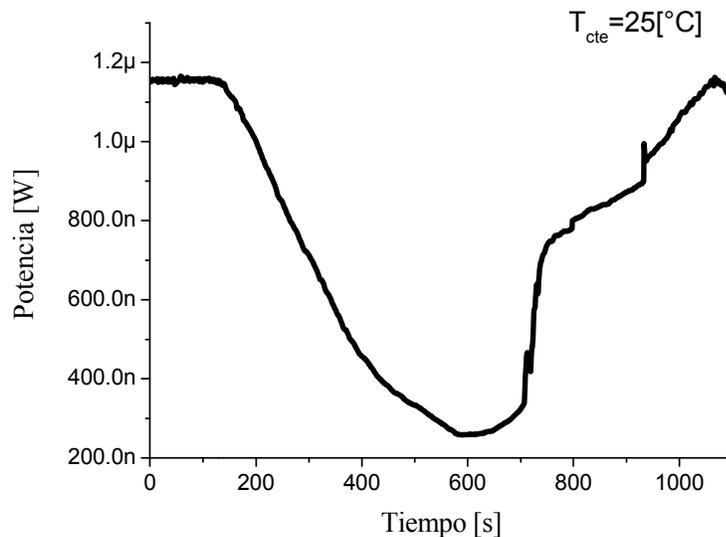


Figura 3.9. Curva de respuesta del sensor en configuración de múltiples reflexiones para la prueba estática de temperatura a 25[°C] utilizando una muestra hepática de pollo como fuente de calor.

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

La Fig. 3.9 muestra que el valor de sensibilidad fue capaz de detectar el calor emitido por una muestra orgánica. Se puede apreciar, que al aplicar un flujo de calor la potencia decrece un 75% aproximadamente en un intervalo de 410[s]. Otro dato a destacar es que posteriormente en el tiempo de recuperación, el valor de potencia alcanza su valor inicial cuando habían transcurrido 1000[s], esto nos indica que existe una gran disipación de calor ocasionada por la placa de aluminio con la que se presiona la muestra del tejido.

Por último culmino mi trabajo de tesis efectuando las mediciones correspondientes al monitoreo de la respuesta del sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones, utilizando como fuente de calor la muestra hepática y presentando una prueba dinámica de temperatura. Para ello se ajusta el control de temperatura buscando obtener un aumento gradual y constante, específicamente el tejido aumentaba periódicamente 1[°C] cada 30 segundos; El valor de temperatura inicial de la prueba es de 20[°C] (intentando emular la temperatura ambiental promedio de la ciudad de México) y culminaba a los 90[°C]. Los resultados experimentales se presentan a continuación:

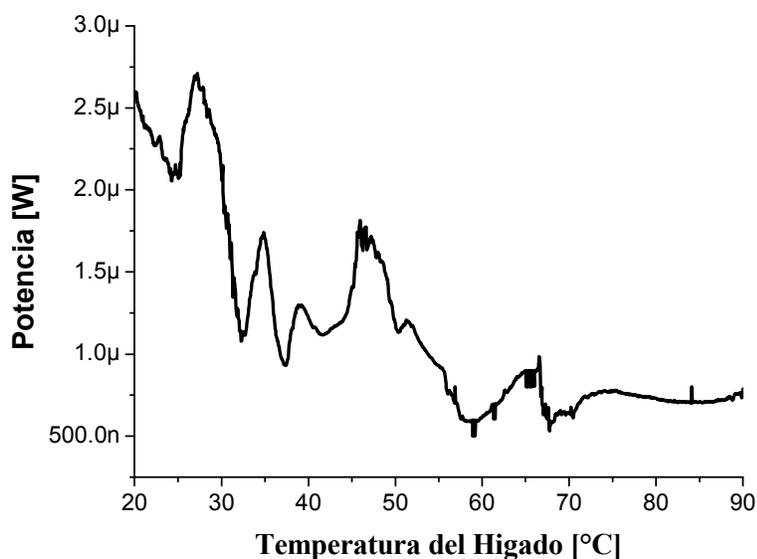


Figura 3.10. Curva de respuesta del sensor en configuración de múltiples reflexiones para la prueba dinámica de temperatura utilizando una muestra hepática de pollo como fuente de calor.

Los resultados de la Fig. 3.10 efectivamente establecen que existe una disminución de la potencia de salida cuando se aumenta gradualmente la temperatura del tejido orgánico, esto se debe a los cambios estructurales del hígado de pollo, tales como la desnaturalización de proteínas, así como la deshidratación del mismo. Es importante señalar que la muestra hepática se carboniza en su totalidad al alcanzar la temperatura de 90[°C]. Por otro lado, actualmente con los experimentos realizados, resulta imposible identificar las proteínas y demás biomoléculas involucradas, que presentan una modificación en su estructura, sin embargo, este experimento establece las bases para continuar con esta investigación.

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

A continuación se presenta una tabla donde se resumen los cambios estructurales identificados en el experimento donde la temperatura de la muestra hepática aumenta gradualmente de 20-90[°C].

Alteración de la estructura molecular de la muestra hepática como respuesta al aumento gradual de la temperatura.	
Rango de temperatura	Efectos térmicos en el tejido hepático
20-25[°C]	Se presenta una disminución de potencia debido a la aplicación de flujo de calor, similarmente a las curvas obtenidas en los experimentos con la fuente calibrada.
25-30[°C]	Existe un aumento en la potencia de salida, lo que indica que se comienzan a alterar las propiedades térmicas (estructura molecular) de la muestra orgánica, y por ende se presenta una diferencia en la conducción del calor.
25-30[°C]	El valor de la potencia disminuye como respuesta del flujo de calor que el tejido hepático aplica sobre el bloque de acrílico.
35-50[°C]	Se obtienen valores donde la potencia oscila, ocasionados por la reducción enzimática y por el inicio de la deshidratación en el tejido.
50-70[°C]	Existe una tendencia donde la potencia de salida disminuye como respuesta de la desnaturalización de proteínas y colágena. El tejido se empalidece e inicia la necrosis celular.
70-90[°C]	Deshidratación total de la muestra (evaporación de agua) y carbonización de la misma, representada por un valor constante de potencia.

Tabla 3.2. Resumen del cambio estructural de la muestra hepática como respuesta al aumento de temperatura.

3.4 Conclusiones del capítulo

El sensor de flujo de calor en configuración de múltiples reflexiones presenta una sensibilidad de $4.665E-8$ [W/(mW/cm²)] empleado en un rango de 3.0 – 9.0[mW/cm²] y presentando una resolución de 0.4[(mW)/cm²]. La trayectoria óptica total que recorre el haz dentro del bloque de acrílico es de 75.5[mm] cuando el ángulo de entrada es de 7°.

Validando la hipótesis inicial del proyecto, se incrementó de manera notoria la sensibilidad con la nueva configuración del sensor manteniendo la misma distancia entre haz incidente y la fuente de calor, esto es un incremento cercano al 300%. Además de la demostración analítica, experimentalmente se obtuvieron resultados donde la trayectoria descrita por el haz es 3 veces mayor en la configuración de múltiples reflexiones por lo que se concluye que la sensibilidad es proporcional a la distancia de la trayectoria óptica. Cabe mencionar que se

3. CONFIGURACIÓN DE MÚLTIPLES REFLEXIONES

ha reducido el tiempo de la pendiente crítica (capacidad de detección más veloz), lo que se considera como un aspecto favorable para la nueva configuración del sistema de sensado.

Otro aspecto favorable de este nuevo diseño es la notoria minimización de las dimensiones del bloque de acrílico presentando 2500[mm²] en la configuración actual, por 6000[mm²] del sensor en trayectoria lineal, lo que corresponde a un decremento del 60% aproximadamente de su volumen inicial. De esta manera se cumple el objetivo de diseñar un sistema más compacto. Además, las dimensiones del diseño presentado en este capítulo consideraron la longitud de las muestras hepáticas, así como del número óptimo de reflexiones internas ocasionadas por un determinado ángulo de entrada del haz incidente, suficiente para que la altura en la segunda reflexión libre por completo el diámetro del colimador de entrada, y continúe con las demás reflexiones.

Una limitante en el sistema de la configuración de múltiples reflexiones es la implementación con los espejos de alta reflectancia, debido a que con ellos se presenta una pérdida de potencia de 57%. Idealmente se busca que la transmitancia de la señal sea del 100%, y para intentar alcanzar este valor se propone sustituir estos espejos por un depósito de evaporación de aluminio en ambas caras del bloque de acrílico, con lo que se prevé que exista un valor menor de pérdida de potencia en las reflexiones que en el diseño actual. Otro aspecto que se podría optimizar, es la adaptación de un colimador con menor divergencia angular (0.25°) que el utilizado en la entrada de la señal (Newport modelo F-COL-9-15-FCAPC), de esta manera se presentarían menores pérdidas de potencia.

Además, los parámetros del sensor en configuración de múltiples reflexiones (rango, resolución, sensibilidad) fueron capaces de detectar el flujo de calor emitido por una muestra hepática. La curva presenta grandes similitudes a los resultados obtenidos con la fuente controlada de calor (película absorbente excitada por la fuente de luz blanca), esto es, existe un decremento en la potencia cuando la fuente de calor está presente en el experimento, y al retirar esta del montaje, se presenta una recuperación del valor de la potencia de salida. Finalmente de la prueba dinámica de temperatura se obtuvieron resultados favorables, que nos indican que el sensor de flujo de calor en configuración de reflexiones múltiples es capaz de detectar los cambios de flujo de calor que representan modificaciones en su estructura y composición del tejido orgánico. Esto se concibe como una exhortación para continuar la investigación, y caracterizar las propiedades térmicas en los órganos humanos, que culmine con un prototipo de sensado para la identificación de alguna patología en específico.