

## 4. RESPUESTA DE DISPOSITIVOS DE FIBRA ÓPTICA RECUBIERTOS CON AZOPOLÍMEROS

En la actualidad existen varios tipos de dispositivos que emplean fibra óptica, con una gran diversidad de aplicaciones y apoyados en distintas áreas de la tecnología. Dentro del área de las comunicaciones y desarrollo de sensores la polarización de la luz es muy importante, ya que a través de los cambios en esta se pueden determinar variables o señales de interés. Dentro de los dispositivos que existen actualmente para provocar cambios de polarización, se pueden encontrar algunos cuyo funcionamiento es muy básico, un ejemplo son aquellos que emplean la técnica de oprimir y deformar la fibra para provocar cambios en la birrefringencia y así modificar la polarización de la luz. Existen otros que su principio es más complejo y funcionan con base en efectos electro-ópticos y son empleados en "switches" de polarización, controladores y sintetizadores, por nombrar algunos [1].

Controlar la polarización es también de interés en sistemas láser de fibra óptica, cuyo funcionamiento se mencionó en el capítulo 1. Estos sistemas pueden adoptar varias configuraciones según sea su conexión, una es la configuración en anillo donde la realimentación se da de la fibra de salida a la fibra de entrada, y encontrándose dentro del anillo la fibra dopada con tierras raras (por ejemplo, una fibra dopada con erbio) (Fig. 4.1). La salida láser resultante proporciona una señal con alta ganancia en potencia y ancho espectral muy estrecho. La principal característica que presenta este arreglo es que al existir realimentación se adquiere una mayor sensibilidad a los cambios físicos dentro del resonador, teniendo la posibilidad de detectar cambios pequeños de manera amplificada. La polarización de la luz es muy importante dentro de la configuración en anillo, ya que al ajustarla es posible seleccionar o sintonizar la

longitud de onda a la cual emite el láser de fibra óptica, repercutiendo también en la ganancia en potencia [25].

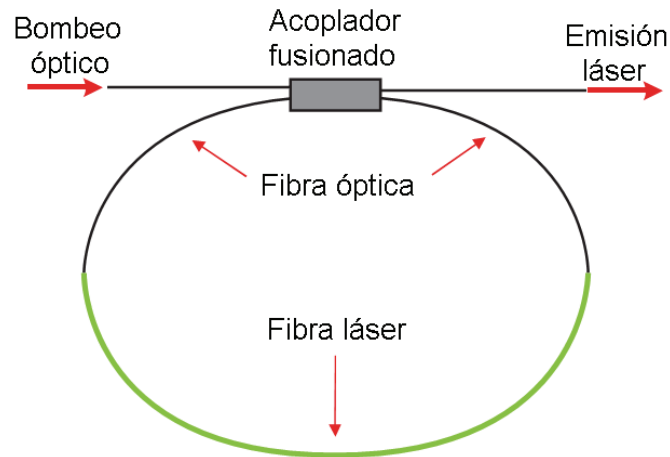


Fig. 4.1. Resonador óptico en configuración anillo.

Los dispositivos fabricados para este trabajo consisten en fibras ópticas adelgazadas y acopladores de fibra óptica, ambos recubiertos con azopolímeros, los cuales presentan cambios muy pequeños en birrefringencia [17, 26, 27]. Debido a esta razón al alimentar los dispositivos con una fuente de luz sencilla como lo es el LED utilizado para la caracterización de los acopladores, no se puede realizar la detección de los cambios al excitar los azopolímeros. Sin embargo, al situar los dispositivos dentro de un arreglo en anillo se tiene una amplificación en la respuesta, lo cual facilita la visualización de los cambios fotoinducidos. El arreglo construido para este propósito es el mostrado en la figura 4.2.

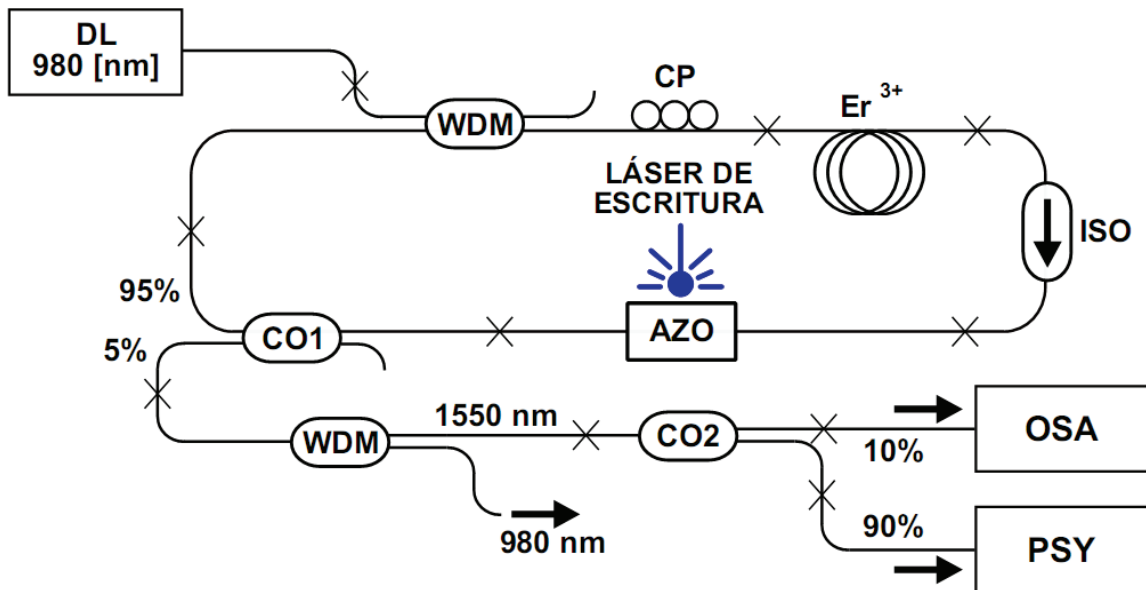


Fig. 4.2. Arreglo en configuración anillo para la prueba de dispositivos con azopolímero (la simbología utilizada en la figura se detalla en el texto).

El arreglo utiliza un diodo láser (DL) que emite a una longitud de onda de  $980 \text{ nm}$ , este láser semiconductor emplea para su funcionamiento una fuente de alimentación para regular su temperatura y la corriente que se le suministra. La señal proveniente del DL es enviada a un multiplexor por división de onda (WDM), que tiene la función de juntar las señales de  $980 \text{ nm}$  y de  $1530 \text{ nm}$ , esta última señal es generada dentro del arreglo. Una de las salidas de este WDM se conecta a un controlador de polarización (CP), que sirve para ajustar manualmente la polarización. Posteriormente se encuentra la fibra dopada con erbio ( $\text{Er}^{3+}$ ) formada por dos tramos:  $1 \text{ m}$  de fibra que mantiene la polarización y  $80 \text{ cm}$  de fibra altamente dopada de erbio que da mayor amplificación de señal; esta fibra genera emisión láser en una longitud de onda de  $1530 \text{ nm}$ . Después se halla un aislador óptico (ISO) cuya función es permitir que la luz generada dentro del anillo viaje en una sola dirección, además de bloquear la señal de  $980 \text{ nm}$  no absorbida por la fibra de erbio. A continuación se conecta el dispositivo fabricado con azopolímero (AZO), que es iluminado por una fuente externa de luz (láser de escritura) para inducir cambios en la birrefringencia. Finalmente para cerrar el anillo se tiene un acoplador (CO1) con coeficiente de acoplamiento 95/5, la terminal empleada para cerrar el anillo es la de 95 % y el 5 % restante se utiliza para medir la señal de salida.

La señal generada en el anillo es introducida a otro WDM, que tiene la función de separar las señales de  $980\text{ nm}$  y la de  $1550\text{ nm}$ , esto con la finalidad de filtrar la señal de salida y sólo detectar longitudes de onda cercanas a  $1550\text{ nm}$ . Para poder detectar la señal, esta se divide mediante un acoplador (CO2), detectando el 10 % de la potencia con un analizador de espectros óptico (OSA) y el 90% de la potencia con un analizador de polarización (PSY), empleados para registrar el espectro y la polarización de la señal de salida. Las conexiones de todos elementos se realizaron empleando conectores angulados (representados por las cruces) para evitar reflexiones de señal que pudiesen generar efectos de interferencia óptica.

Como se mencionó en el capítulo anterior, el proceso para generar la birrefringencia en los azopolímeros comienza con las moléculas de DR1 en una orientación inicial aleatoria. Al iluminar las muestras, las moléculas se orientan en dirección perpendicular a la polarización del láser de escritura (las moléculas que ya poseían una orientación perpendicular no se ven afectadas), donde al retirar el láser de escritura algunas moléculas quedarán orientadas y otras regresarán a su posición original; estos estados se ilustran en la figura 4.3) [7, 17]; esta reacción depende de la libertad que otorgue la matriz polimérica. La excitación de los azopolímeros (PDMS-DR1) que recubren a los dispositivos de fibra óptica, se realiza mediante luz linealmente polarizada proveniente del láser de escritura que incide directamente sobre las muestras.

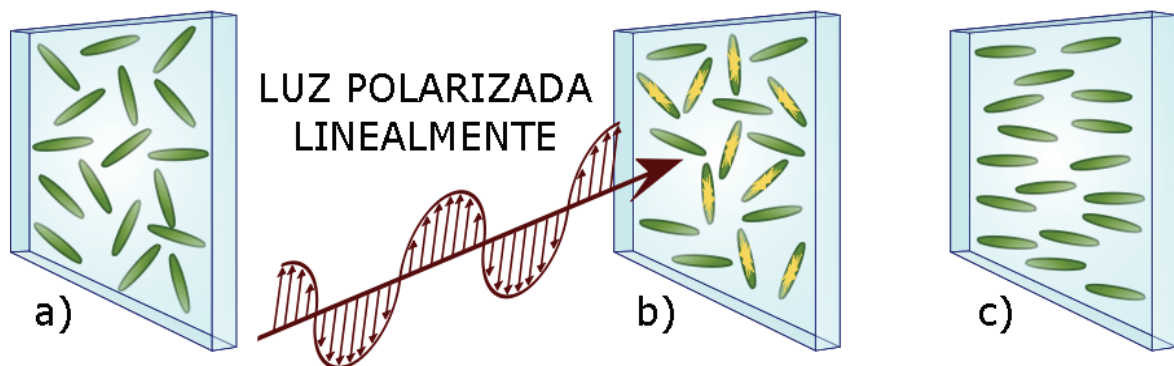


Fig. 4.3. Orientación de las moléculas al iluminarlas con el láser de escritura, a) moléculas orientadas en direcciones aleatorias, b) al incidir el láser de escritura orienta las moléculas de forma perpendicular a su orientación y c) moléculas orientadas.

Para asegurar que la polarización del láser de escritura fuera lineal, se empleó un polarizador Glan-Thompson [4] a la salida de este. Los láseres empleados para excitar las moléculas de DR1 fueron dos:

- Láser pulsado de Nd:YAG a 15 Hz, longitud de onda de 532 nm (verde) y potencia de 0 - 15 mJ. Su ángulo de incidencia sobre las muestras fue de 60°. Este láser fue acoplado a una fibra óptica multimodal y a la salida de esta se colocó el polarizador para garantizar una polarización lineal.
- Láser de estado sólido de onda continua, longitud de onda de 475 nm (azul) y potencia de 20 mW. Su ángulo de incidencia sobre las muestras fue de 50°. Este láser posee una salida polarizada linealmente, por lo que al girar el polarizador de Glan-Thompson se presenta atenuación de la señal. Esta variación de la potencia a la salida se aprecia en la gráfica mostrada a continuación (Fig. 4.4):

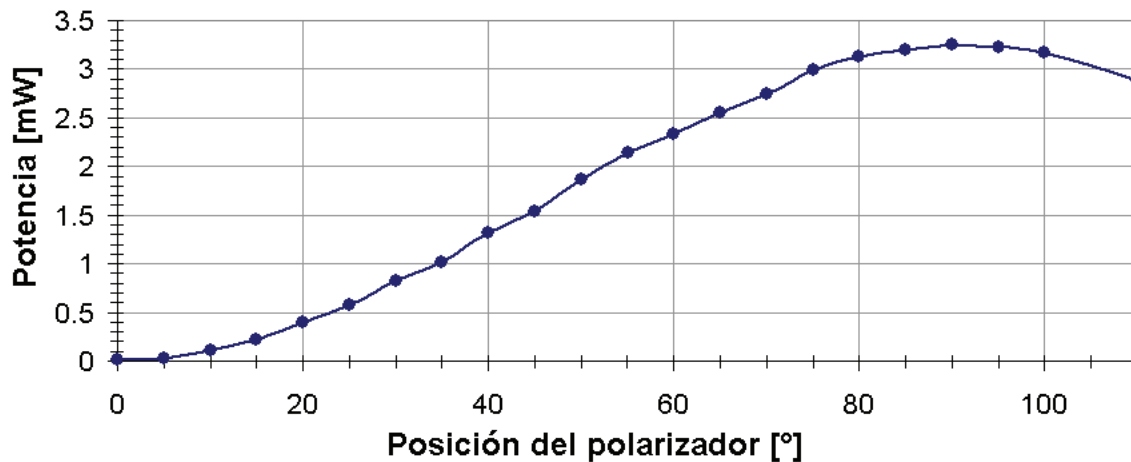


Fig. 4.4. Salida de la potencia del láser azul al pasar por un polarizador de Glan-Thompson.

#### 4.1 Cambios fotoinducidos en el espectro de transmisión

El ajuste en la longitud de onda de la señal emitida en arreglos de anillo se realiza generalmente mediante algún tipo de filtro dentro del resonador. Un ejemplo de estos dispositivos son los filtros de Fabry Perot. Los dispositivos fabricados en este trabajo al estar situados dentro del arreglo de fibra óptica en anillo, tienen la

capacidad de seleccionar la longitud de onda de emisión láser generada al cambiar la polarización de la señal que viaja dentro del anillo.

Un factor que afecta directamente el espectro de transmisión en los dispositivos creados, es el índice de refracción del compuesto PDMS-DR1, este material al cambiar con la temperatura, afecta la amplitud de la señal [23, 24]. Los efectos en el espectro de transmisión al excitar los azopolímeros depositados sobre fibras ópticas adelgazadas y acopladores de fibra óptica son estudiados a continuación.

#### 4.1.1 Fibras ópticas adelgazadas

Las fibras ópticas adelgazadas empleadas se fabricaron con 10 mm de elongación obteniendo pérdidas en el rango de 0.3 a 0.4 dB. Sin embargo, al recubrirlas con PDMS-DR1 presentaron pérdidas mayores, alrededor de 3 dB debido al índice de refracción del azopolímero. En la figura 4.5 se puede observar como es que el espectro de la emisión láser cambia al introducir el dispositivo recubierto con azopolímero, a causa de las pérdidas que este introduce. La amplitud del espectro no es muy estable, pero esto es debido a inestabilidades propias del arreglo y no es de gran relevancia para las mediciones. Los cambios fotoinducidos originados en los dispositivos se ven reflejados en la longitud de onda de emisión del sistema láser.

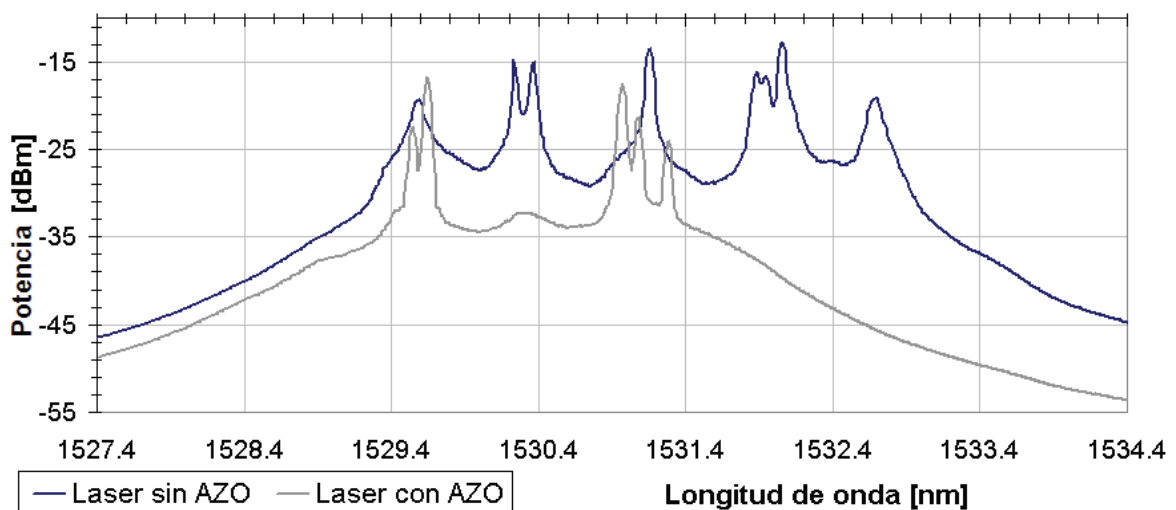


Fig. 4.5. Pérdidas en el espectro de emisión del arreglo al poner una fibra adelgazada con azopolímero.

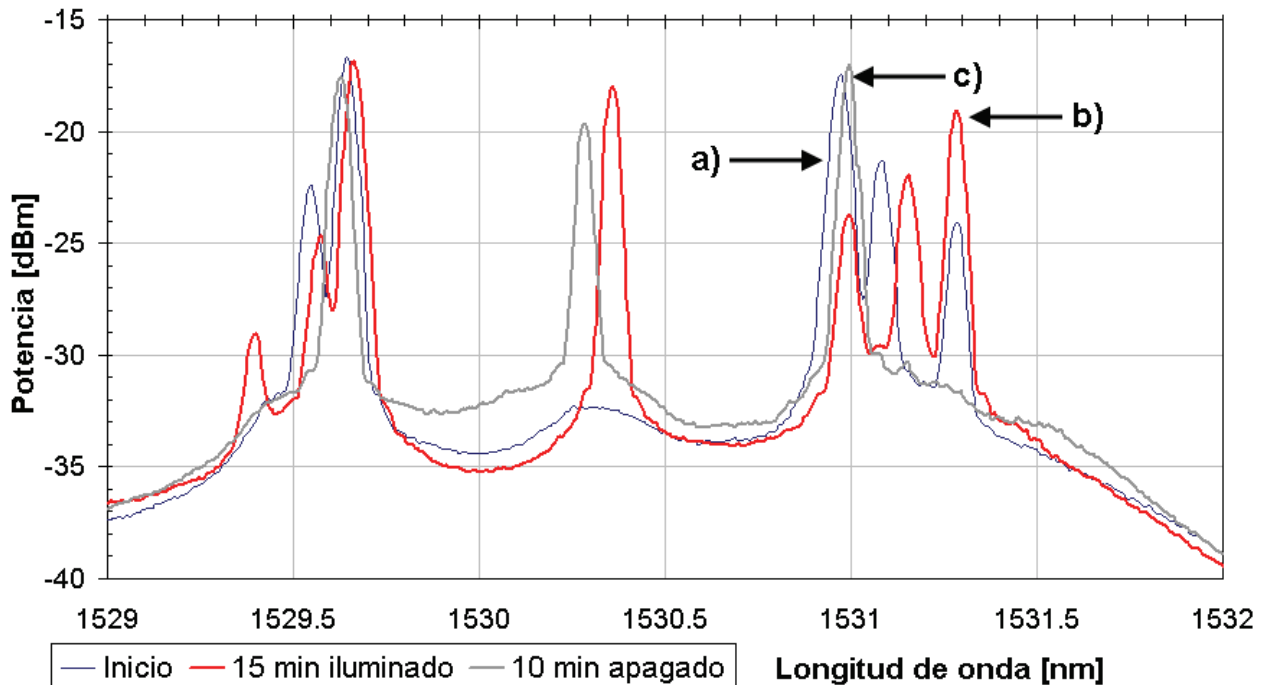


Fig. 4.6. Cambios en el espectro de emisión al iluminar con un láser de escritura de  $532\text{ nm}$ , a) posición inicial, b) posición después de iluminar con el láser de escritura durante  $15\text{ min}$  y c) posición después de  $10\text{ min}$  de haber apagado el láser de escritura.

Los cambios en los dispositivos fueron registrados tras iluminar quince minutos utilizando el láser verde de escritura a máxima potencia. Los cambios generados en el espectro de emisión no son muy evidentes, pero sí se presenta un desplazamiento en las regiones espectrales donde se genera la emisión láser. Al apagar el láser de escritura también se registraron cambios en el espectro volviendo a cambiar su posición, aunque no regresó totalmente a su estado inicial (Fig. 4.6).

#### 4.1.2 Acopladores sobreacoplados de fibra óptica

Los acopladores de fibra óptica son elementos muy sensibles a los cambios físicos y en transmisión de señal. Esta sensibilidad se debe a dos factores: primero a que requieren una mayor elongación, y segundo porque al involucrar dos fibras se presentan en la señal efectos de división en potencia y en longitud de onda. Como ya se vio en el capítulo dos de este trabajo, los acopladores sobreacoplados, dependiendo del número de lóbulos con que se fabriquen, presentan bandas en su espectro de transmisión que determinan la transmisividad del dispositivo en función de la longitud

de onda. La cantidad de luz transmitida en cada una de estas bandas espectrales depende de la polarización, razón por la cual al variar la birrefringencia es posible ajustar la cantidad de luz que se transmite a través de estos dispositivos. Este principio es utilizado para desarrollar un "switch" al variar la polarización dentro del anillo, pues de esta manera se puede seleccionar la longitud de onda dentro del resonador.

Para los dispositivos fabricados en este trabajo se emplearon acopladores sobreacoplados de uno y dos lóbulos, para conseguir una señal con suficiente potencia y poder generar emisión láser dentro del anillo. Los acopladores sobreacoplados de más lóbulos presentan pérdidas muy elevadas, razón por la cual no fue posible utilizar acopladores de tres o más lóbulos. Como se puede ver en la figura 4.7, los cambios en el espectro de transmisión de los acopladores de fibra óptica presentan pérdidas muy altas al ser recubiertos con el PDMS-DR1. Las pérdidas al introducir los dispositivos dentro del láser de fibra óptica se muestran en la figura 4.8, donde se observa que las pérdidas en los acopladores son mucho mayores en comparación con las pérdidas para el caso de las fibras adelgazadas.

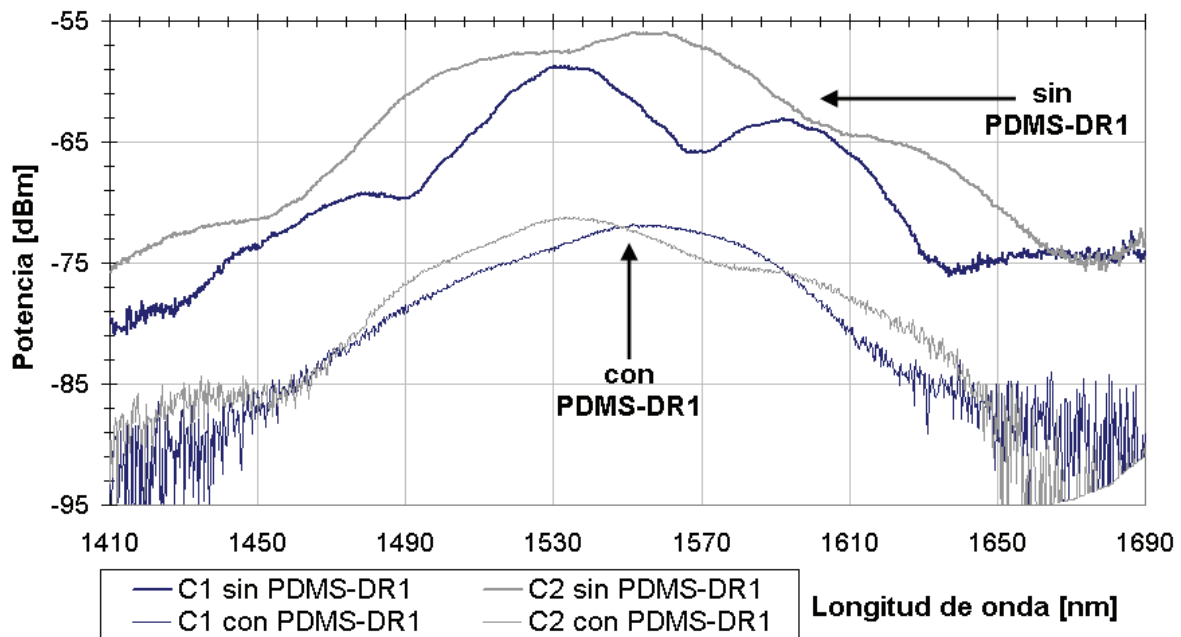


Fig. 4.7. Cambio en el espectro de transmisión en un acoplador de un lóbulo al recubrirlo con el azopolímero PDMS-DR1. C1 es el canal uno y C2 es el canal dos.



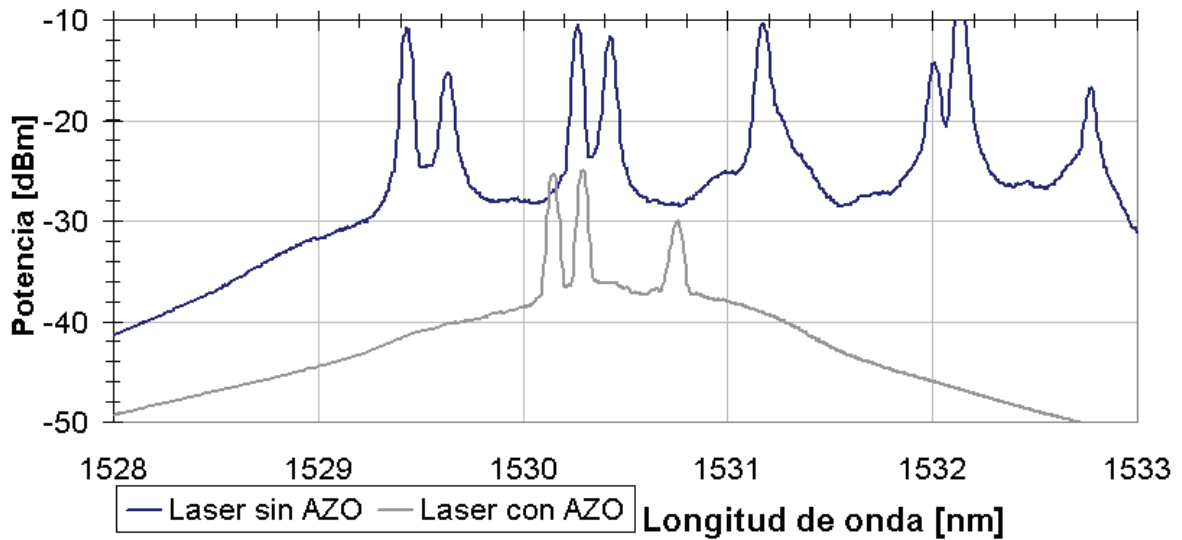


Fig. 4.8. Pérdidas en el espectro de emisión del láser de fibra óptica al insertar el dispositivo.

Los dispositivos fueron iluminados con los dos láseres de escritura (azul y verde) y en ambos casos se logró generar cambios en el espectro de emisión. Para estos eventos primero se estableció una polarización determinada y asociada a esta se tenía una longitud de onda de emisión en el láser de fibra óptica. Posteriormente se iluminaron con el láser de escritura y al generarse birrefringencia se modificaba la polarización, efecto que ocasionaba un corrimiento en la longitud de onda de emisión (Fig. 4.9). Otro efecto que se observó, fue que al iluminar las muestras se originaba mayor amplitud en ciertas longitudes de onda al ir cambiando la polarización (Fig. 4.10).

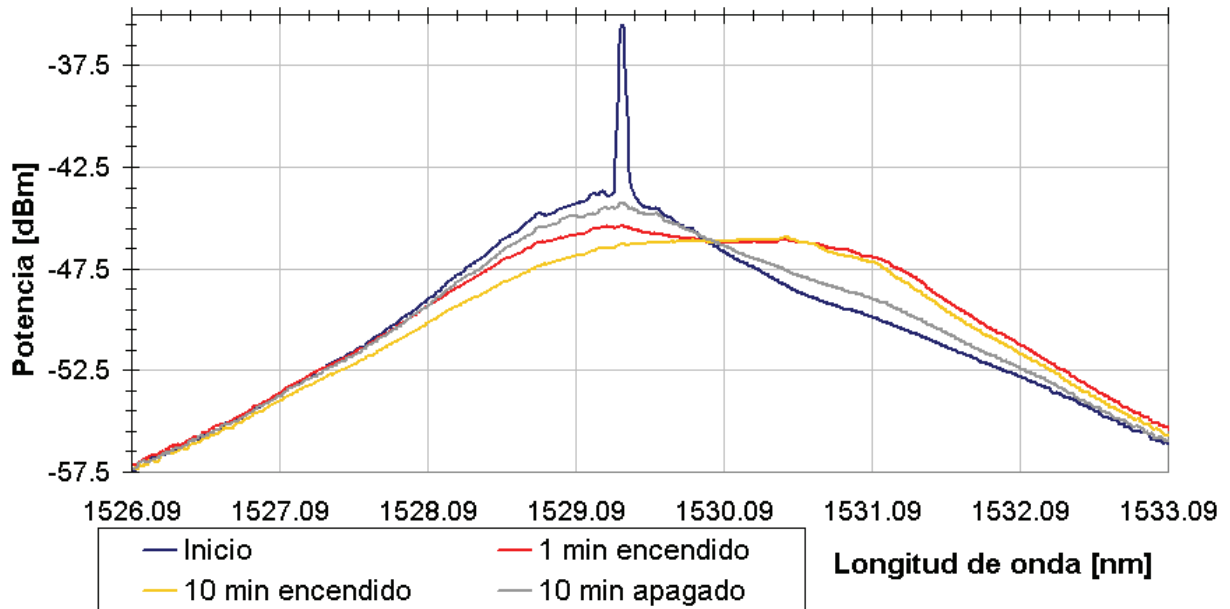


Fig. 4.9. Cambios de longitud de onda en el espectro de emisión en el láser de fibra óptica con acoplador de fibra óptica y azopolímero.

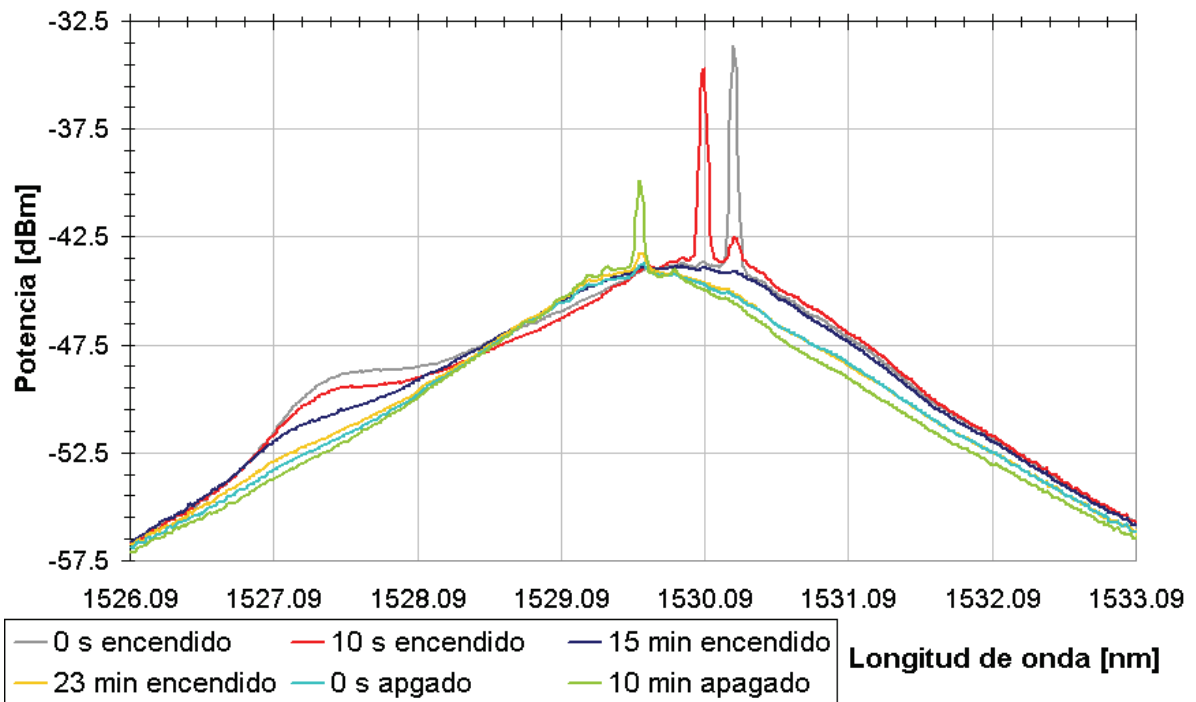


Fig. 4.10. Cambios de ganancia en el espectro de emisión del láser de fibra óptica con acoplador de fibra óptica con azopolímero.

Al dejar de iluminar con el láser de escritura se observó que algunas veces el espectro de emisión del láser de fibra óptica casi regresa a su posición original. En el

caso de la figura 4.9 se dejó de producir emisión láser al cambiar la polarización, esto debido a las altas pérdidas, pero al retirar el láser de escritura el espectro no retornó exactamente a su posición inicial y no fue posible obtener de nuevo emisión láser. En el último ejemplo (Fig. 4.10), se muestra el caso donde la polarización permaneció en el estado inducido por la iluminación con el láser de escritura, así que los cambios generados en el espectro permanecieron aún después de dejar de iluminar con el láser de escritura.

Los cambios registrados en el espectro de emisión no son de gran magnitud (el corrimiento de longitud de onda es de un par de nanómetros como máximo) y debido a inestabilidades del arreglo en anillo no se tenía una longitud de onda estable, lo cual también dificultó la medición de los cambios fotoinducidos. Los tiempos y potencias de radiación sobre los dispositivos no pudieron caracterizarse de manera confiable, ya que bajo las mismas condiciones de iluminación la respuesta no resultaba igual en una misma muestra. Este problema se atribuye a la baja Tg de la matriz, pues esta no proporciona mucha estabilidad y no se asegura que las moléculas de DR1 permanezcan en una orientación bien definida. Aunado a esto, al ser el PDMS una nueva matriz para contener azobencenos, no se tiene caracterizado el compuesto y los comportamientos son difíciles de establecer; sin embargo, en el caso en que se empleó el láser azul para iluminar las muestras se registraron cambios para todas las potencias obtenidas, según la posición del polarizador empleado. Esto implica que los cambios fotoinducidos pueden generarse incluso con niveles de potencia bajos para el láser de escritura.

#### **4.1.2.1 Efectos en acopladores por variación de temperatura**

El coeficiente termo-óptico ( $dn/dT$ ) del PDMS es negativo, aproximadamente de  $-1 \times 10^{-4} K^{-1}$  [23] lo cual indica que al incrementarse la temperatura su índice de refracción disminuye. Las propiedades del PDMS se ven afectadas por el proceso al cual es sometido pero, en principio, al calentar las muestras el espectro de transmisión se modifica al bajar el índice de refracción. Este efecto se demostró en el capítulo dos al introducir un acoplador en agua e incrementar su temperatura.

Uno de los dispositivos recubierto con azopolímero fue sometido a cambios de temperatura, para ser específico se utilizaron las resistencias para encapsular que posee la máquina que fabrica los acopladores. Haciendo uso de un LED como fuente de luz, se registraron los cambios en el espectro de transmisión asociados a cada temperatura, obteniendo de esta manera las variaciones en el espectro del dispositivo en función de la temperatura. Los cambios pueden apreciarse en las figuras 4.11 y 4.12 al calentar el dispositivo y después dejarlo enfriar, respectivamente.

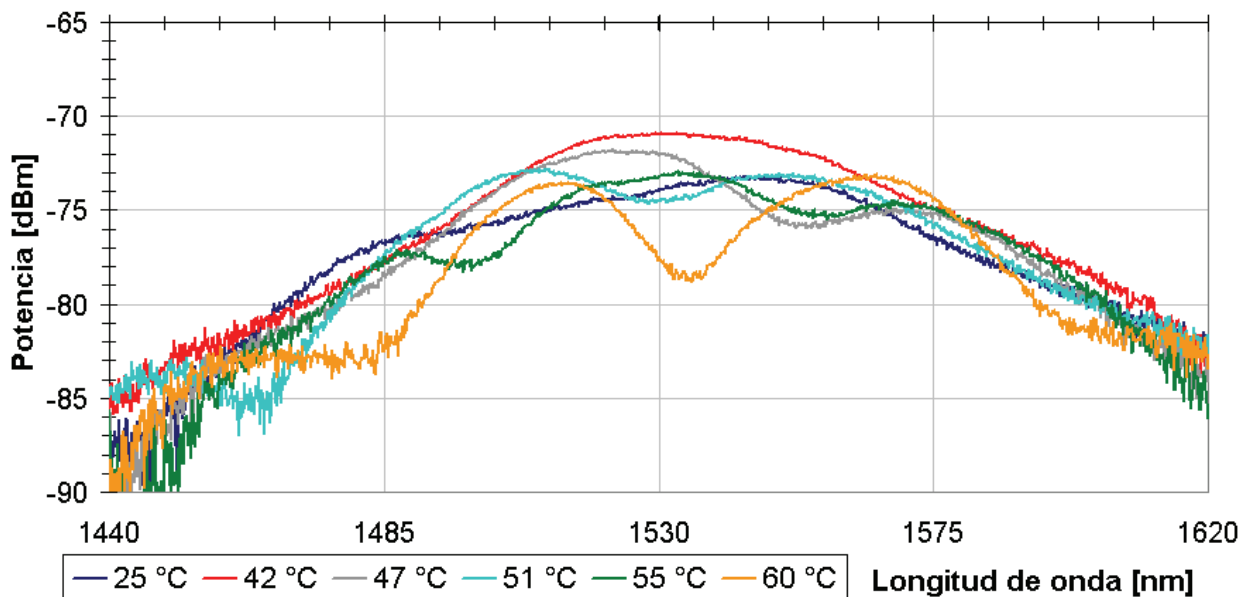


Fig. 4.11. Modificación de bandas espectrales en dispositivo al incrementar la temperatura.

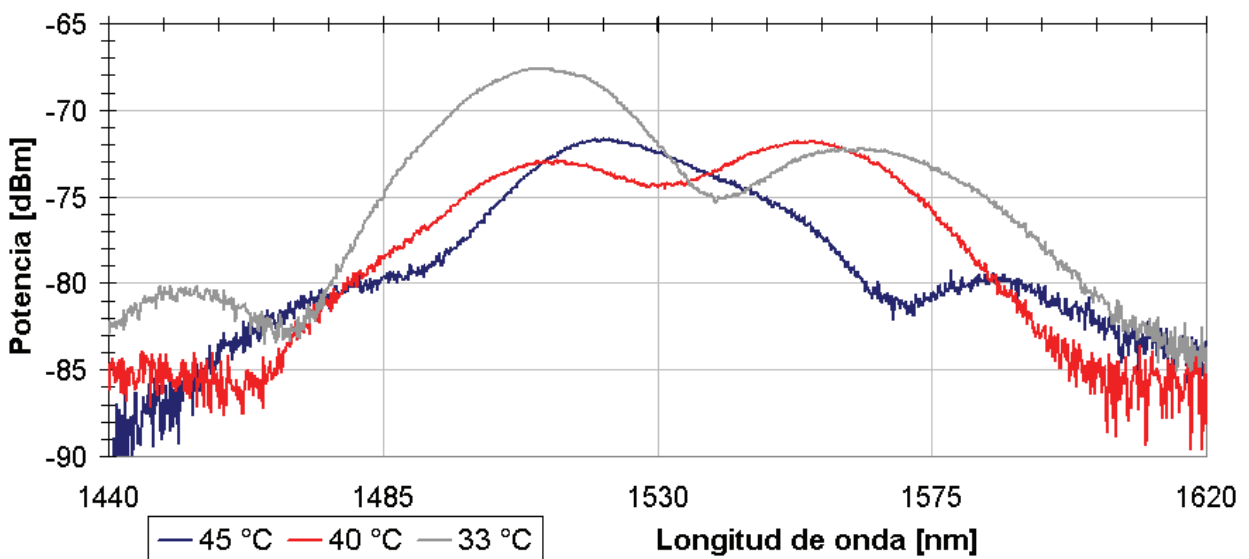


Fig. 4.12. Modificación de bandas espectrales en dispositivo al disminuir la temperatura.

En las gráficas donde se muestra el cambio de la señal de acuerdo con la variación de temperatura, se puede observar que hay grandes cambios con pequeñas variaciones de temperatura. Esto es más evidente al comparar estos datos con los obtenidos al utilizar en agua como medio externo e incrementar su temperatura. En un principio el espectro de transmisión casi no presenta bandas espectrales, pero al incrementarse la temperatura se aprecia que estas se definen mejor. Sin embargo, al enfriarse el dispositivo permanece alterado en su espectro de transmisión, tal alteración se atribuye al proceso al cual se somete la matriz polimérica. Al calentar el dispositivo el índice de refracción disminuye, obteniendo pérdidas menores y así las bandas espectrales adquieren una mejor definición. Todo esto muestra que la respuesta de los dispositivos es muy sensible a las propiedades ópticas del material (índice de refracción) y la temperatura en la que se trabaja.

#### **4.1.3 Efectos en acopladores sin láser de escritura**

Al estar preparando y ajustando el equipo para realizar los experimentos se presentó un fenómeno inesperado. Este fenómeno consiste en que al activar el DL de bombeo, se registró una respuesta similar a la obtenida cuando se excitan los dispositivos con el láser de escritura (Fig. 4.13). En este caso el proceso de excitación se atribuye a efectos térmicos originados por la señal del láser de fibra (1530 nm). Este cambio se registró varias veces al suministrar corriente al DL y apagarlo. Al ser mayor la potencia de bombeo, el cambio se presentaba de manera más rápida hasta llegar a un punto en donde se saturaban las moléculas y ya no se presentaba más este cambio sin importar la potencia empleada. Al calentar las muestras, las moléculas se relajaban y se reorientaban de forma aleatoria volviendo a presentarse este fenómeno.

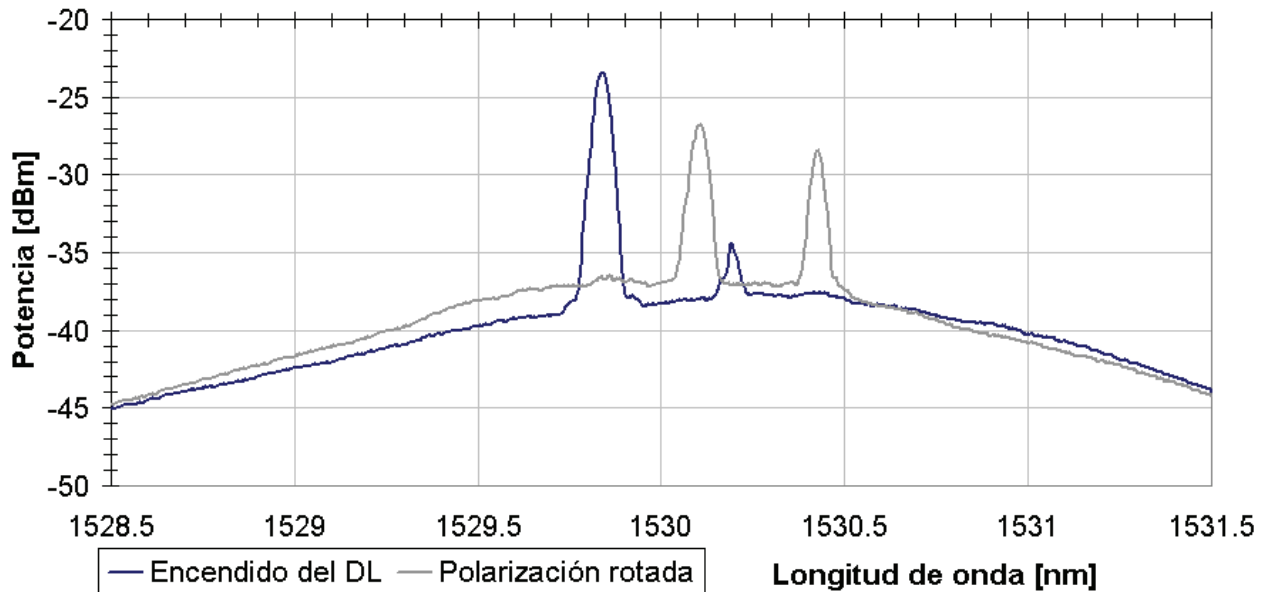


Fig. 4.13. Cambio en el espectro debido al proceso de excitación mediante la señal de 1530 nm generada en el arreglo en anillo de fibra óptica.

Este tipo de cambios representan una variable importante a considerar al utilizar los dispositivos fabricados con estos azopolímeros. Los efectos producidos en estos casos deben ser estudiados más a fondo para contrarrestar este efecto y que no interfiera con la respuesta generada debido al láser de escritura.

## 4.2 Cambios fotoinducidos en polarización

Los cambios en la polarización de la señal que viaja dentro de las fibras ópticas en una sección adelgazada, son generados por cualquier cambio del medio externo debido a la interacción de la onda evanescente con este. Al radiar los azobencenos con un haz de luz láser linealmente polarizado y en una longitud de onda en la cual presente absorbancia, se generará birrefringencia. Esta, en efectos de la polarización de la luz, provoca un desplazamiento de un estado de polarización hacia otro, hasta llegar a un punto en el cual las moléculas de azobenceno se encuentran todas alineadas perpendicularmente a la polarización del láser de escritura. Al retirar el láser de escritura, las moléculas generalmente retornan a su estado original después de

cierto tiempo, el cual depende del proceso de fabricación de la muestra, sus propiedades y factores del medio ambiente, como lo es la temperatura.

Los efectos causados por la birrefringencia fotoinducida en los diferentes dispositivos se analizaron mediante la esfera de Poincaré [4], donde cada punto sobre la esfera representa una polarización. Este método gráfico para visualizar la polarización de la luz es adecuado para observar qué tipo de respuesta generan los dispositivos fabricados.

#### **4.2.1 Fibras adelgazadas**

En estos dispositivos los cambios siempre se generaron después de cierto tiempo de iluminarlos con el láser de escritura. La figura 4.14 ilustra cómo es que la polarización del láser de fibra óptica cambia después de radiar las muestras durante un cierto tiempo. Al comenzar a registrarse el cambio en polarización, esta se desplaza de manera muy rápida hasta alcanzar un estado fijo. Posteriormente al apagar el láser de escritura, para algunos casos se observó que inmediatamente la polarización regresaba casi a su estado inicial siguiendo la misma trayectoria. Los cambios al emplear fibras adelgazadas siempre tuvieron el mismo comportamiento en cuanto al tiempo de respuesta, tardando minutos en presentarse.

En otras ocasiones al excitar los dispositivos y cambiar la polarización, esta no regresaba a su estado original al apagar el láser de escritura (Fig. 4.15). Esto se atribuye a que la matriz empleada no está caracterizada para este tipo de aplicaciones. Uno de los factores que muy probablemente influya en este tipo de respuesta es el fenómeno de excitación sin utilizar el láser de escritura mencionado en las secciones anteriores. Este es un efecto térmico que muy probablemente genera inestabilidades en la matriz polimérica.

El analizador de estados de polarización, cuenta con un software para representar gráficamente la polarización de la señal mediante la esfera de Poincaré (PolaView versión 3.0). Este software dibuja una traza en color azul para representar

los estados de polarización que caen en la parte frontal de la esfera y la traza en rojo es para los estados representados en la parte posterior de la esfera.

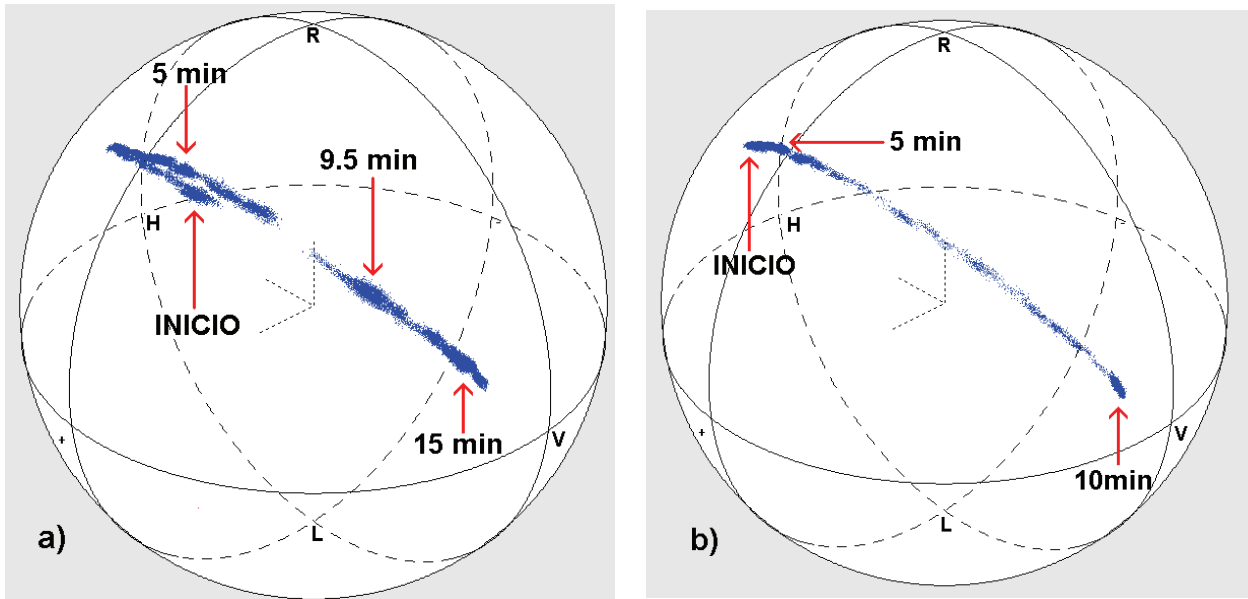


Fig. 4.14. Trazas del cambio en la polarización de la luz al emplear una fibra adelgazada con PDMS-DR1, a) durante 15 minutos de iluminación con luz láser linealmente polarizada, b) regreso de la polarización al apagar el láser de escritura.

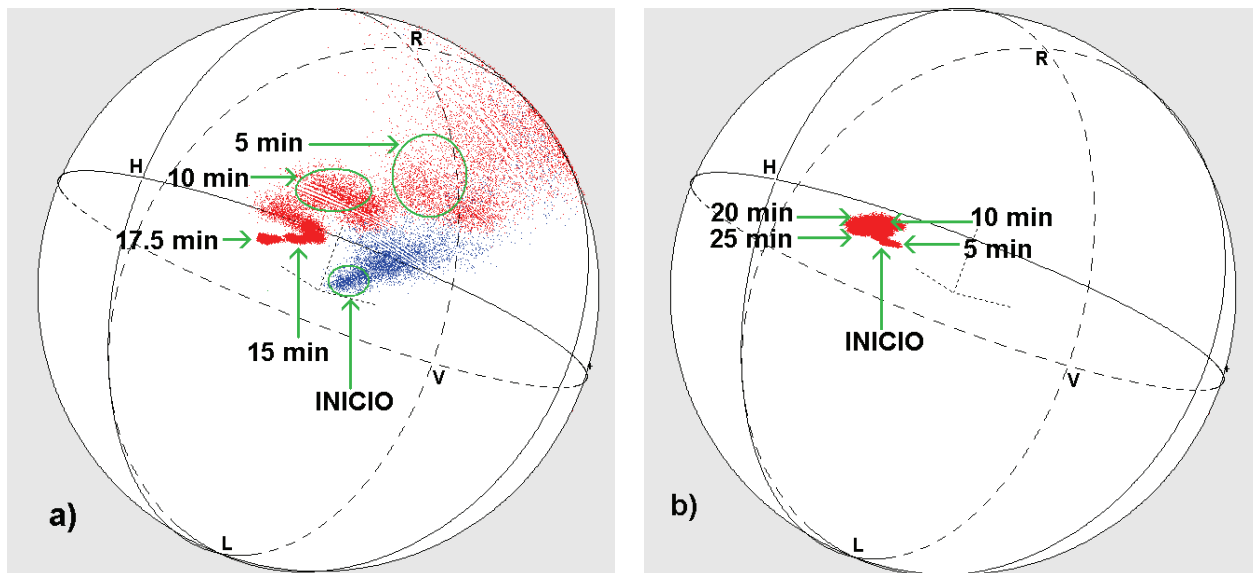


Fig. 4.15. Otro ejemplo del cambio de la polarización al emplear una fibra adelgazada con PDMS-DR1, a) durante 17.5 minutos de iluminación con luz láser de escritura, b) la polarización se mantiene en el estado alcanzado al iluminarlo y no retorna al estado inicial.



El cambio en la polarización del láser de fibra óptica se genera por la reorientación de las moléculas del DR1, la cual es inducida por el láser de escritura. La nueva orientación de las moléculas de DR1 es perpendicular a la polarización del láser de escritura, donde las moléculas permanecerán en esa posición mientras se encuentre encendido el láser de escritura. Debido a la gran libertad que otorga la matriz polimérica (PDMS) a las moléculas del azobenceno, estos cambios pueden ser revertidos casi en su totalidad.

#### **4.2.2 Acopladores sobreacoplados de fibra óptica**

Los cambios en polarización de los dispositivos basados en acopladores sobreacoplados de fibra óptica, son similares a los que se generan en las fibras adelgazadas. Sin embargo, en este caso el tiempo que tardaba en presentarse el desplazamiento de la polarización y su velocidad de rotación fueron muy variados. El tiempo de respuesta para que la polarización se moviera llegó a ser inmediato y en algunos casos tardó varios minutos. El retorno a la polarización inicial fue de forma más rápida, aunque al igual que con fibras adelgazadas hubo casos en los que la polarización no regresaba a su estado inicial. Cuando se presentaba un retorno al estado inicial de polarización, este era en el instante de retirar el láser de escritura, si no había retorno de la polarización, esta permanecía en el estado fotoinducido. En la figura 4.16 se aprecia un cambio muy rápido de la polarización justo al encender el láser de escritura; de igual manera, el retorno al estado original de polarización se presenta justo al momento de apagar el láser de escritura, regresando a una posición muy cercana a la inicial. Como contraparte, en la figura 4.17 se aprecia un cambio igual de rápido, pero la polarización continúa desplazándose durante varios minutos y al retirar el láser de escritura, esta permanece en ese estado sin retornar a su posición original.

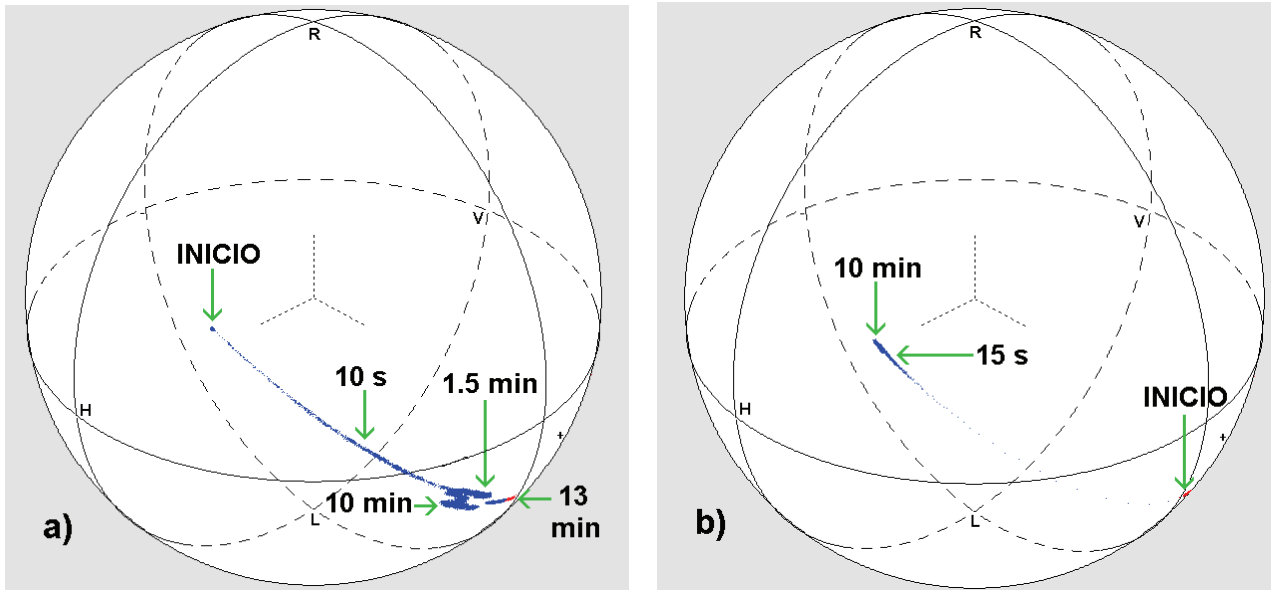


Fig. 4.16. Trazas de la rotación de la polarización utilizando un acoplador sobreacoplado de fibra óptica con PDMS-DR1, a) durante 13 minutos de iluminación con el láser de escritura, b) regreso de la polarización al apagar el láser de escritura.

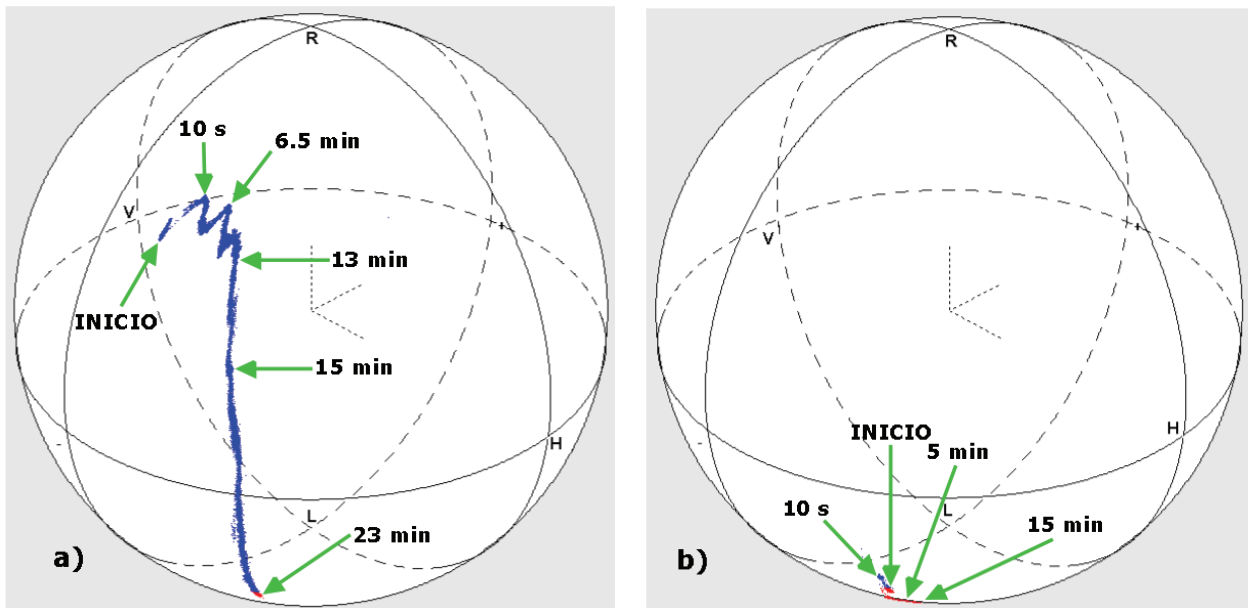


Fig. 4.17. Otro ejemplo de la rotación de la polarización utilizando un acoplador sobreacoplado de fibra óptica con PDMS-DR1, a) durante 23 minutos de iluminación con el láser de escritura, b) en este caso la polarización no regresa a su posición inicial.

La magnitud de los cambios depende mucho de la polarización ajustada manualmente mediante el controlador de polarización (CP) dentro del arreglo en anillo.

Esto se observa si se toma el caso en donde para una polarización dada hubo un cambio fotoinducido en polarización y se presentó el retorno a la polarización inicial (como el registrado en el evento de la figura 4.15); posteriormente se generó un cambio fotoinducido empleando otra polarización, la cual se logra variando la posición del controlador de polarización en el láser de fibra óptica. De esta manera se obtuvo un cambio de menor magnitud pero con igual velocidad y comportamiento (Fig. 4.18).

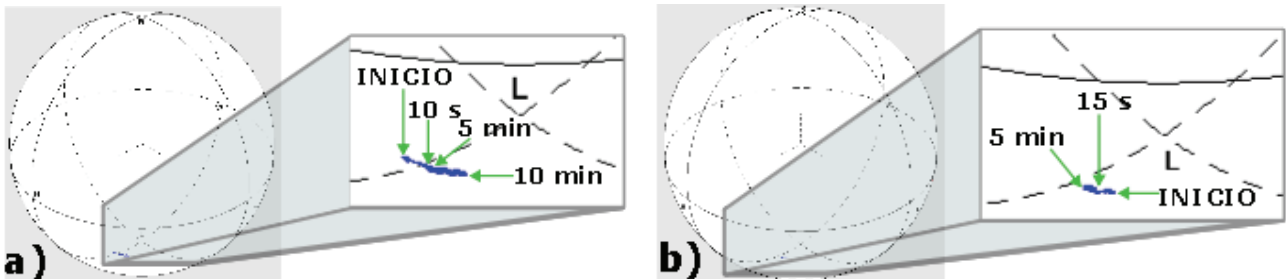


Fig. 4.18. Trazas de la rotación de la polarización utilizando un acoplador sobreacoplado de fibra óptica con PDMS-DR1 en menor magnitud, a) durante 10 minutos de iluminación con el láser de escritura, b) regreso de la polarización al apagar el láser de escritura.

#### 4.2.3 Efectos de polarización en acopladores sin láser de escritura

Como ya se mencionó anteriormente, al no iluminar con el láser de escritura y suministrar corriente al diodo láser también se presentaron cambios en la polarización. Su respuesta es similar a la registrada empleando el láser de escritura, por lo que se puede evaluar mediante la esfera de Poincaré. Los tiempos y amplitudes de respuesta se encuentran en un rango muy amplio (de segundos a minutos), pero llegan a un estado de estabilidad después de permitir el paso de la señal que viaja dentro de la fibra en anillo por algunos minutos (Fig. 4.19).

De esta manera la onda evanescente expuesta en la sección adelgazada de las fibras, de alguna manera provoca cierta excitación en el compuesto creado de PDMS-DR1, lo cual puede ocurrir por efectos térmicos. Este efecto no siempre se registró al activar el diodo láser, por lo que la polarización de la luz que viaja dentro del arreglo de anillo debe de influir en la respuesta.

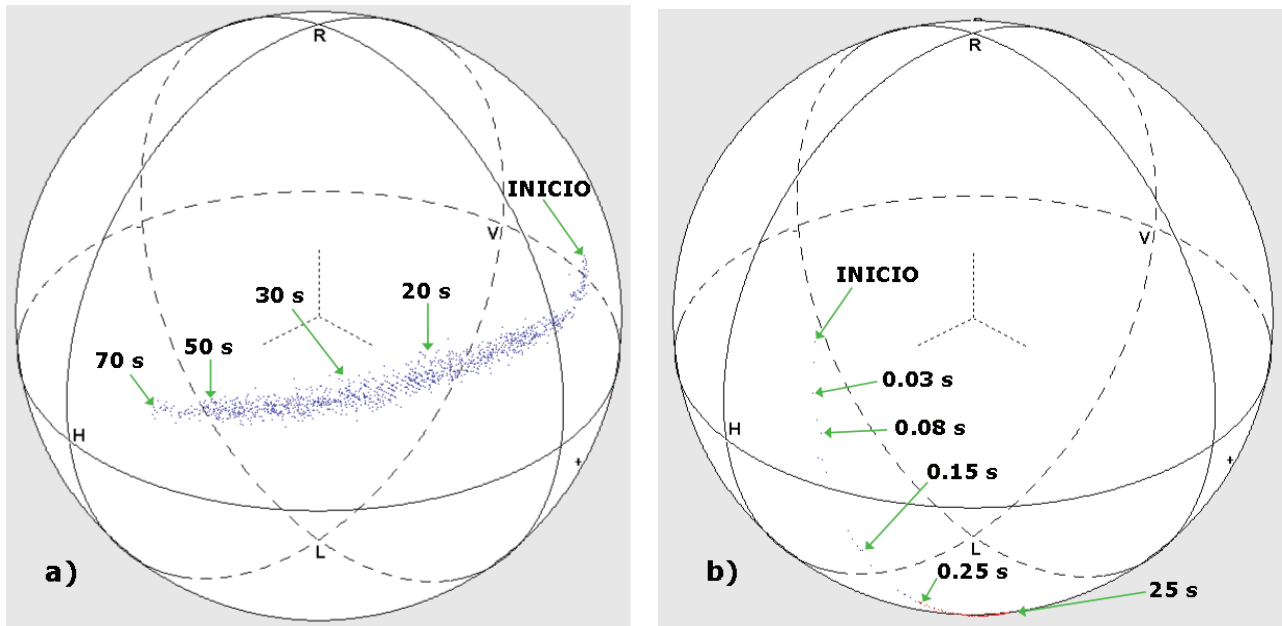


Fig. 4.19. Trazas de la rotación de la polarización utilizando un acoplador sobreacoplado de fibra óptica con PDMS-DR1 por efectos de la señal que viaja a través de la fibra al encender el diodo láser que alimenta el arreglo en anillo (sin láser de escritura), a) con una corriente de 400 *mA* y b) con una corriente de 360 *mA* y polarización distinta.

### 4.3 Posibles aplicaciones de los dispositivos

Los dispositivos fabricados y probados son expuestos a una gran cantidad de variables físicas y de factores durante su fabricación, los cuales alteran sus propiedades y por consiguiente su respuesta. Para su empleo como sensores, el rango de aplicaciones es muy variado debido a las alteraciones producidas en el medio externo que rodea la sección adelgazada de las fibras ópticas. Los cambios en el medio externo pueden ser desde variaciones del índice de refracción dependiendo de la temperatura (para el cual se observó bastante sensibilidad) hasta la detección de factores químicos por su interacción con los azopolímeros, y así alterar la señal que viaja dentro de la fibra óptica.

La aplicación más inmediata de los dispositivos creados en este trabajo, que requiere de perfeccionamiento, es para fabricar rotadores o "switches" de polarización. Dado que se han reportado tiempos de activación de picosegundos en azopolímeros,

existe la posibilidad de lograr una respuesta rápida. Esto sería de gran interés en el campo de las telecomunicaciones y procesamiento de señales ópticas.

Los materiales a emplear como matriz pueden ser muy variados y con distintas propiedades. De la misma manera, hay una gran variedad de azobencenos con distintas características. Esto ofrece una gran cantidad de combinaciones para formar azopolímeros, brindando un gran número de respuestas las cuales pueden ser empleadas para reaccionar ante alguna variable definida y así obtener sensores para distintos usos. Un ejemplo de esto es la utilización de azobencenos contenidos en celulosa, obteniéndose así un compuesto que reacciona a cambios de pH [28].

La preparación de los azopolímeros comprende bastantes factores como lo son el índice de refracción de la matriz polimérica y su  $T_g$ , el proceso de fabricación que comprende los solventes, temperatura de curado y tratamientos especiales (como lo puede ser con UV o plasma). Otro aspecto muy importante es la selección del azopolímero para reaccionar a estímulos determinados; por lo tanto, es cuestión de seleccionar la combinación adecuada para los fines deseados.