

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES

En este trabajo se realizó el estudio experimental de las características espectrales de acopladores sobre-acoplados de fibra óptica. El método utilizado para la fabricación de estos acopladores fue el método de fusión, para lo cual se utilizó una estación de trabajo computarizada que permite un alto grado de automatización y control del proceso. Se optimizaron los parámetros de operación de la estación de trabajo, de tal manera que los dispositivos fabricados presentaran pérdidas ópticas bajas al calentar y adelgazar simultáneamente las fibras. La ventaja de utilizar la técnica de fusión para fabricar acopladores es que puede controlarse adecuadamente la geometría de la sección de acoplamiento, con lo cual se puede modificar las características espectrales del dispositivo cambiando el índice de refracción del medio que lo rodea. La característica principal de un acoplador sobre-acoplado es que la transferencia de potencia es cíclica, y conforme se va adelgazando más, los ciclos de transferencia de potencia son más marcados. Además, pueden generarse cambios en la amplitud de la potencia óptica que se transmite a través del acoplador.

Se utilizaron dos tipos de fuente de luz para fabricar acopladores sobre-acoplados: un LED y una fibra láser de erbio sintonizable. El LED tiene un ancho espectral muy amplio por lo que el acoplamiento entre las fibras se presentará idealmente dentro de todo este rango espectral; en la práctica, el ancho espectral se reduce un poco debido a los cambios que sufre la guía de onda durante el proceso de elongación. Los acopladores que se fabricaron con este tipo de fuente de luz son de banda ancha, esto es, el acoplamiento de luz entre las fibras se genera de igual manera a varias longitudes de onda. Las características espectrales de este tipo de acoplador dependen de la elongación de las fibras, pues al estar más delgadas las fibras el acoplamiento será más selectivo debido a que la guía de onda se hace más estrecha.

El uso de un sistema de fibra láser durante el proceso de fabricación de los acopladores permite obtener dispositivos con mayor selectividad espectral. El acoplamiento de luz entre las fibras se lleva a cabo únicamente a la longitud de onda en la que trabaje el láser, y mientras más delgadas se hagan las fibras, se comenzarán a generar las bandas espectrales de transmisión, permitiendo detectar con mayor sensibilidad los cambios en la potencia óptica. A pesar de que el acoplamiento se lleva a cabo a una longitud de onda, cuando se observan las gráficas de caracterización espectral se observan bandas de transmisión a distintas longitudes de onda, esto es debido a que la potencia a la salida de las fibras son funciones periódicas sinusoidales, lo que indica que las bandas de transmisión presentarán este comportamiento. Como se comentó a lo largo de este trabajo los detectores ópticos de la estación de trabajo aceptan un rango amplio de longitudes de onda de la potencia óptica recibida, por tal motivo cuando se utiliza como fuente de luz un LED, los detectores ópticos reciben un ancho espectral muy amplio dentro del cual se registran las variaciones en potencia. Cuando se hace un acoplamiento de 3 dB éste se presentará a todas las longitudes de onda registradas por el detector obteniéndose un acoplador de banda ancha. Por otro lado, si se utiliza como fuente de luz un láser sintonizable, el ancho espectral es limitado, haciendo más fácil la detección de los cambios en la potencia óptica debido al cambio en la geometría de la región de acoplamiento y puede así obtenerse un acoplador sobre acoplado con mucho más ciclos de transferencia de potencia.

Con la finalidad de comparar los espectros de transmisión de los acopladores al variar el diámetro de la región de acoplamiento, se fabricaron acopladores de uno, dos y tres lóbulos. Por facilidad, los lóbulos se definieron de acuerdo con la reducción de la envolvente de las curvas de transferencia de potencia y, en general, mientras mayor sea el número de lóbulos mayor será el adelgazamiento de las fibras en la región de acoplamiento. Cada lóbulo incluye varios ciclos de transferencia de potencia y con los parámetros de fabricación utilizados fue posible fabricar acopladores con más de 100 ciclos. Las

propiedades espectrales del acoplador dependen de la elongación total a la que se someten las fibras durante el proceso de fabricación. Para los tres casos que se analizaron, se compararon las pérdidas de transmisión que se generan durante el proceso de elongación y se observó que éstas se generan mayoritariamente al inicio del proceso y posteriormente se estabilizan al pasar el primer lóbulo. Esto indica que las mayores pérdidas se obtienen cuando se realiza la primera etapa de acoplamiento, y se debe a que al inicio del proceso de elongación se presenta el cambio más drástico en la geometría de la fibra óptica. Después de pasar el primer lóbulo de las curvas de transferencia de potencia, el cambio en la geometría es mucho más adiabático y las pérdidas se mantienen en un valor prácticamente constante. En general, los dispositivos fabricados presentaron pérdidas adecuadas para su uso en resonadores de fibra óptica: las pérdidas en exceso máximas registradas fueron de 3.76 dB. Las pérdidas de inserción máximas registradas al final del proceso de fabricación fueron de aproximadamente 7 dB, para acopladores de 3 dB. Estas pérdidas pueden ser reducidas si se modifican los parámetros de fabricación de la estación de trabajo (flujo de hidrógeno, altura de la antorcha, elongación inicial de la fibras, velocidad de jalado, desplazamiento y velocidad de la antorcha) con el fin de generar una deformación más adiabática en la fibra.

Con la caracterización espectral de los acopladores sobre-acoplados se observó que a mayor número de lóbulos (ciclos de transferencia de potencia) existen más bandas espectrales de transmisión, así como también hay una mayor selectividad en longitud de onda. Esto se debe a que la región de acoplamiento se hace más delgada, provocando que las longitudes de onda mayores se vuelvan más susceptibles a salir del confinamiento de la guía de onda. Como se vio en el capítulo tres, el coeficiente de acoplamiento depende del número V , y éste a su vez depende de la longitud de onda y del diámetro del cuello del acoplador. Para elongaciones grandes, el número V se hace muy pequeño, y la transferencia de potencia entre las fibras presentará oscilaciones muy rápidas.

La dependencia del acoplamiento de luz en función del índice de refracción se estudió variando el medio externo a la región de acoplamiento. Como puede verse en la descripción teórica de los acopladores, para que exista acoplamiento entre las fibras el índice de refracción del revestimiento siempre debe ser mayor al índice de refracción del medio externo. La sensibilidad de los distintos acopladores a los cambios en el medio externo se estudió depositando una gota de alcohol etílico en la región de acoplamiento. El cambio en las características espectrales y de transmisión de potencia en los acopladores se registró durante el proceso de evaporación del alcohol. Se observaron cambios espectrales en distintas proporciones para cada tipo de acoplador, así como también se registraron cambios durante el proceso de evaporación del alcohol etílico. Ambas características indicaron que los acopladores con mayor número de ciclos son más sensibles, y esto nuevamente tiene que ver con la definición del número V . Éste tiene una dependencia proporcional con el índice de refracción y si el índice de refracción del revestimiento es menor al índice de refracción del medio externo el número V se modifica. Esto a su vez afecta al coeficiente de acoplamiento y la potencia a la salida de las fibras, de tal manera que el acoplador deja de guiar la luz.

Una de las utilidades que se les puede dar a este tipo de acopladores es para implementar resonadores en anillo para sistemas láser de fibras. En esta configuración el acoplador sobre-acoplado determina las longitudes de onda que circulan dentro del anillo para ser amplificadas y generar emisión láser. Se trabajó con dos tipos de configuraciones para observar con más detalle las ventajas que presenta un resonador en anillo al depositar una gota de alcohol etílico. En anillo abierto los resultados son similares a utilizar un LED, y son útiles para determinar la región de operación del sistema láser de fibra. Al cerrar el anillo genera emisión láser a las longitudes de onda en las que las pérdidas son mínimas. En ambos casos (anillo abierto y anillo cerrado) se observó que existe una mayor sensibilidad a cambios en el índice de refracción del medio externo mientras mayor sean los ciclos de transferencia de potencia del acoplador. De acuerdo con los resultados

experimentales se puede también concluir que los residuos de alcohol afectan permanentemente el coeficiente de acoplamiento, y por lo tanto, se afectan también las condiciones de confinamiento de luz de la guía de onda que se forma en la región del cuello del acoplador.

En la configuración anillo cerrado se observó que las variaciones en el espectro de transmisión son más evidentes que en las configuraciones anteriores. Además, el rango espectral de operación de la fibra láser se reduce aún más de lo que se observa en las pruebas de anillo abierto; asimismo, el rango espectral de emisión se reduce a medida que el número de lóbulos del acoplador aumenta. Para el acoplador de tres lóbulos se presentaron más de dos líneas de emisión láser tratando de operar dentro de la banda de transmisión. En general, los sistemas láser son muy sensibles a las pérdidas dentro del resonador, y es por esto que los cambios en el índice de refracción en la región de acoplamiento pueden detectarse con mayor sensibilidad. Para el erbio en particular es complicado operar en longitudes de onda múltiples, ya que si éstas se encuentran muy cercanas intercambiarán la energía entre ellas dificultando la estabilización de la emisión láser en una sola región espectral [7]. Por otro lado, si las longitudes de onda se encuentran más separadas, el láser podrá estabilizarse en una o más regiones espectrales de manera más fácil. Ésta es una característica de los sistemas láser que utilizan fibra de erbio, y se logró observar experimentalmente pues en los acopladores de uno y dos lóbulos se llegan a ver más líneas de emisión que en el acoplador de tres lóbulos.

En ambas configuraciones se encontró que las pérdidas generadas durante el proceso de evaporación del alcohol dependen de la polarización, las cuales pueden ajustarse mediante un controlador de polarización. Estas pérdidas generadas se deben a que los residuos de alcohol sobre la región de acoplamiento no tienen una distribución uniforme. Un punto importante es que se fabricaron varios acopladores sobre-acoplados y las características espectrales y

los efectos de los cambios en el índice de refracción observados en todos los casos fueron bastante repetibles.

En suma, se logró observar que la potencia a la salida de los acopladores depende de la longitud de onda, del índice de refracción del medio alrededor de la región de acoplamiento y de la polarización de la luz. Estas características pueden utilizarse para desarrollar aplicaciones de filtrado, seleccionando un rango de longitudes de onda que pueden pasar por el acoplador. Asimismo, los acopladores pueden usarse como multiplexores/demultiplexores de longitud de onda transmitiendo múltiples señales en diferentes longitudes de onda y acoplándolas selectivamente de una fibra a otra. Pueden también usarse como atenuadores dividiendo la potencia entre múltiples salidas según se desee. Finalmente, con los experimentos realizados es fácil ver que los acopladores pueden usarse también como sensores, mediante la modificación del índice de refracción del medio externo al acoplador. Nótese que para todos los ejemplos anteriores, una vez fabricados los acopladores con sus respectivas características, es necesario un encapsulado adecuado para aislar los cambios no deseados.

La utilidad de este tipo de acopladores con su respectivo aislante ha sido estudiada en trabajos previos, uno de ellos es construir un reflector de fibra láser con un acoplador fusionado, en el cual se utiliza el efecto termo-óptico para cambiar la dependencia espectral de la intensidad del radio acoplado [8][9]. El acoplador fue encapsulado con silicón de resina, cuyo índice varió según la temperatura experimental, los resultados obtenidos se basan en el cambio del índice de refracción a los cambios de temperatura del silicón, observándose variaciones espectrales de la fibra óptica láser utilizada. Otra aplicación interesante que se puede dar para este tipo de acopladores es en biosensores ópticos en la cual se puede llegar a detectar un cambio de fase, longitud de onda, amplitud o polarización de la luz en respuesta al cambio físico generado en la especie que se desee estudiar (virus, bacterias, células) [10].

Al concluir esta tesis y al analizar los resultados se puede ver que la estación de trabajo podría utilizarse para fabricar sensores biológicos si los acopladores pueden encapsularse con los materiales adecuados. Evidentemente, las pruebas para este tipo de aplicaciones tienen que ser más rigurosas que las que se desarrollaron en este trabajo, aunque los resultados fueron útiles para mostrar el principio de operación. De esta forma, este trabajo representa un precedente para el desarrollo de sensores biológicos utilizando acopladores sobre-acoplados de fibra óptica.