

## 2. FABRICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE FIBRAS ÓPTICAS ADELGAZADAS Y ACOPLADORES DE FIBRA ÓPTICA

Para los dispositivos desarrollados durante este trabajo se emplearon como base acopladores de fibra óptica fabricados por fusión y fibras ópticas adelgazadas. Los acopladores fabricados por esta técnica son el resultado de un proceso en el cual las fibras involucradas son trenzadas y después se les aplica calor para lograr que estas se fundan; las fibras se fusionan mientras son estiradas con lo cual los revestimientos de las dos fibras se convierten en el nuevo núcleo en esa región y el nuevo revestimiento es el medio ambiente.

El análisis teórico de los acopladores se puede realizar considerando las distintas regiones mostradas en la figura 2.1. La región de acoplamiento con las dos fibras fusionadas (región sombreada) se localiza en la cintura del acoplador. Los parámetros que se consideran para el estudio del acoplamiento de luz entre ambas fibras son:

- $n_2$ , índice de reflexión del revestimiento de la fibra óptica.
- $n_3$ , índice de reflexión del medio.
- $\Delta z$ , región de barrido de la antorcha.
- $L$ , longitud de elongación del acoplador.
- $L_{\text{inicial}}$ , longitud inicial de la región de acoplamiento.
- $a_0$ , diámetro original de la fibra óptica.
- $a_{\text{cintura}}$ , diámetro de la región de acoplamiento.

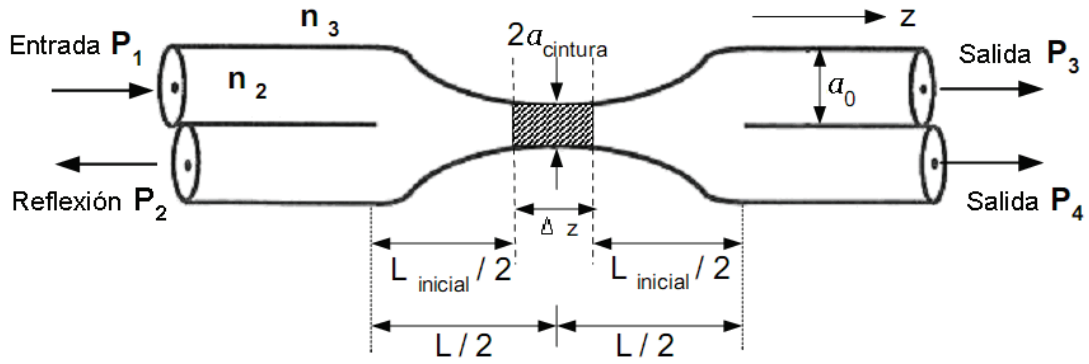


Fig. 2.1. Esquema de un acoplador de fibra óptica indicando las características empleadas para analizar el acoplamiento de luz entre ambas fibras ópticas [9].

Al fusionarse las dos guías de onda, que en este caso son las fibras ópticas, el diámetro de ambas se va reduciendo y fusionando hasta llegar a formar una sección donde casi son una sola fibra. El coeficiente de acoplamiento para estos dispositivos fabricados con dos fibras iguales está dado por la ecuación:

$$C = \frac{3\pi\lambda}{32n_2a_{cintura}^2} \frac{(L - L_{inicial})}{\left(1 + \frac{1}{V}\right)^2} \quad 2.0.1$$

El diámetro de la región de acoplamiento,  $a_{cintura}$ , es obtenido al estirar las fibras de su diámetro original,  $a_0$ . La longitud de onda ( $\lambda$ ) de la señal utilizada afecta directamente sobre  $C$ . El decremento en diámetro tiene una variación exponencial, y depende de la longitud elongada y del barrido de la antorcha [9]:

$$a_{cintura} = a_0 \exp\left(\frac{-L}{2\Delta z}\right) \quad 2.0.2$$

El número  $V$ , que determina el número de modos que puede poseer la fibra óptica, se obtiene por la siguiente expresión [4, 8]:

$$V = 2\pi a_0 \frac{\sqrt{n_2^2 - n_3^2}}{\lambda} \quad 2.0.3$$

Cabe mencionar que la longitud de onda de la señal de entrada ( $P_1$ ) a la fibra, es determinante para el proceso de fabricación de los acopladores, ya que dependiendo de esta se obtienen dispositivos con diferentes características espectrales. Dejando todos los demás parámetros iguales, el coeficiente de acoplamiento será mayor para una longitud de onda mayor [9].

Para el caso de la fabricación de fibras adelgazadas el proceso se simplifica al calentar y estirar una sola fibra, teniendo un cuello donde se presenta el mismo efecto: el revestimiento de la fibra pasa a ser el núcleo de la guía de onda y el medio es el nuevo revestimiento. En estos dispositivos la idea es aumentar la interacción de la onda evanescente con el medio externo, y durante su fabricación, sólo se pueden determinar las pérdidas en la señal que viaja a través de ellos. Sin embargo, se sabe mediante el análisis de óptica de ondas que para un adelgazamiento determinado, la onda evanescente se expone más al medio externo a medida que la longitud de onda aumenta.

Para ambos dispositivos, todo el proceso de fabricación se realiza de manera que se monitorean las potencias de las señales ópticas en las fibras, observando a lo largo del proceso su comportamiento en tiempo real. Esto permite tener un mejor control para detener el proceso de acoplamiento a conveniencia, además de que se pueden evaluar las condiciones de operación para las cuales se obtienen pérdidas mínimas al fabricar los dispositivos. En este trabajo se manejaron acopladores de solo dos fibras ópticas, ya que son los más utilizados y simples de fabricar con la máquina utilizada.

## **2.1 Descripción de la máquina y procedimiento general para fabricar acopladores de fibra óptica.**

La estación de trabajo en la que se fabricaron los acopladores de fibra óptica, brinda la posibilidad de obtener distintos porcentajes de acoplamiento entre fibras mediante un proceso de fusión entre ellas. Esta se compone de una máquina de

procedencia china, marca DOWSON, modelo OC-2012 y una computadora que monitoriza y controla a la máquina (Fig. 2.2).

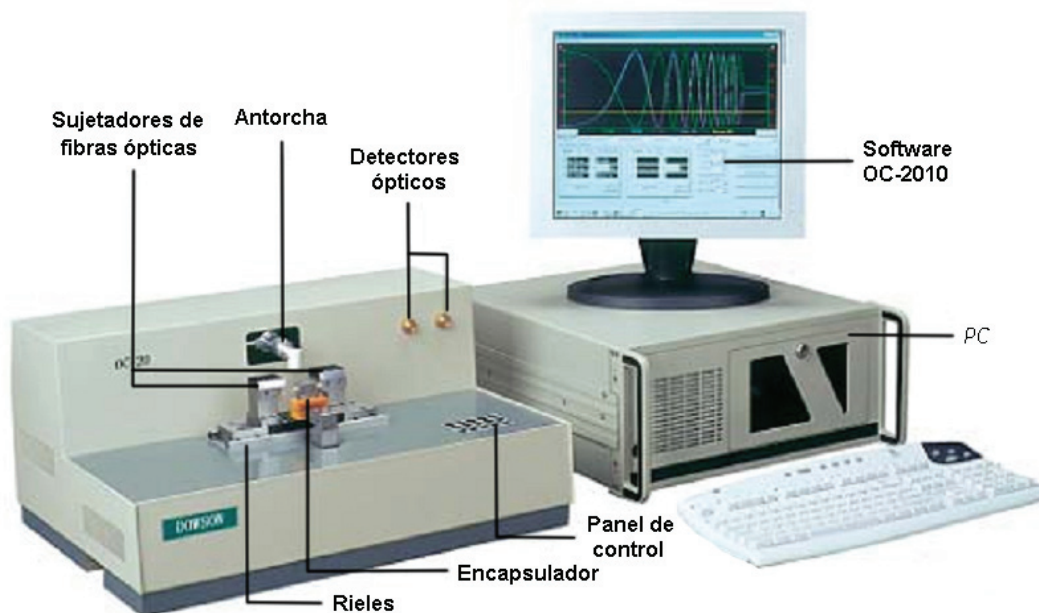


Fig. 2.2. Estación de trabajo OC-2010 [10].

La máquina se compone de los siguientes elementos:

- a) Sujetadores de fibras ópticas mediante vacío y que se desplazan sobre rieles para elongar las fibras ópticas.
- b) Antorcha para quemar hidrógeno y producir la flama para fusión.
- c) Dos detectores de potencia óptica por las cuales se monitoriza la cantidad de señal proveniente de cada fibra óptica.
- d) Encapsulador para recubrir la región de acoplamiento.
- e) Un tanque de hidrógeno de ultra alta pureza que proporciona el combustible para la flama de la antorcha.
- f) Software OC-2012 instalado en la computadora para controlar la máquina.
- g) Bomba de vacío que sirve para succionar y sujetar las fibras.

El panel de control de la máquina mostrado en la figura 2.3 controla los movimientos de esta. Las funciones de cada botón son [10]:

1. **RUN**.- comienza el proceso de fundido de las fibras.
2. **STOP**.- detiene el proceso de fundido de las fibras.
3. **HOME**.- regresa los sujetadores a la posición inicial.
4. **AMEND**.- activa la antorcha para que caliente las fibras pero sin jalarlas.
5. **FLAME UP**.- eleva la antorcha a una posición donde la flama no hace contacto con las fibras.
6. **FLAME DOWN**.- baja la antorcha hasta la posición ajustada en los parámetros de fabricación.
7. **HOLDL**.- activa el vacío en el sujetador izquierdo para detener las fibras.
8. **HOLDR**.- activa el vacío en el sujetador derecho para detener las fibras.
9. **PACK HOLD**.- activa el vacío en el encapsulador para fijar la zona fundida o adelgazada y empaquetarla.
10. **PACK UP/DOWN**.- activa el encapsulador para llevarlo a la posición establecida.
11. **PACKL**.- enciende el calentador izquierdo para secar el recubrimiento de la zona de acoplamiento.
12. **PACKR**.- enciende el calentador derecho para secar el recubrimiento de la zona de acoplamiento.

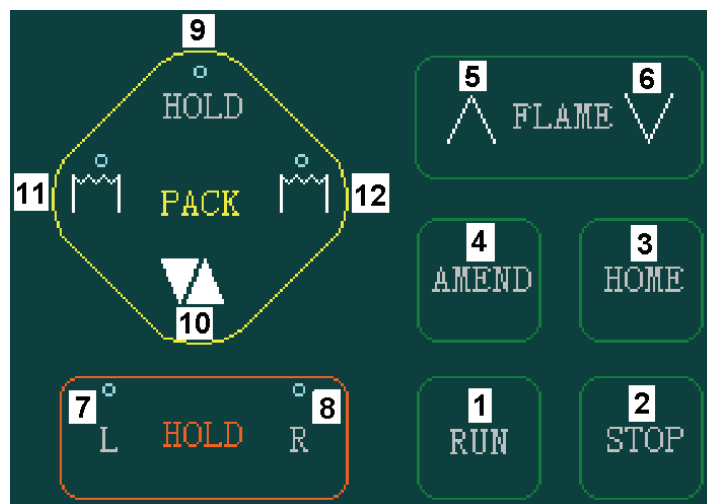


Fig. 2.3. Panel. Panel de control de la estación OC-2010 [10].

Para fabricar los acopladores, la máquina solo cuenta con 2 canales para la detección de potencia, por tal razón solo se pueden fabricar dispositivos que involucren la fusión de 2 fibras ópticas. El procedimiento para la fabricación de acopladores es como sigue:

- I.** Encender el equipo, inicializar el software y los motores.
- II.** Preparar las fibras ópticas cortando las puntas y quitando el recubrimiento de polímero en las puntas y en la zona que se fusionarán al pasar la antorcha.
- III.** Limpiar las puntas de las fibras primero con alcohol etílico y después con acetona para eliminar cualquier rastro de polvo o grasa que pueda interferir con la señal y posteriormente se cortan para introducirlas a los detectores de la máquina.
- IV.** Encender la bomba de vacío.
- V.** De igual manera que en el paso III, se limpian las zonas de las fibras que se fusionarán y se fijan ambas en uno de los sujetadores mediante la succión generada por la bomba de vacío.
- VI.** Se trenzan las fibras en la región a fundir y se fijan en el otro sujetador, cuidando que el trenzado se encuentre justo en medio de los sujetadores, que sea uniforme y que las fibras tengan buen contacto entre ellas.
- VII.** Con una fuente de luz se alimenta la entrada de la fibra que se encuentra conectada al primer detector óptico (CH1), registrando una potencia en el rango de  $\mu W$ .
- VIII.** Se abre la válvula de paso del hidrógeno.
- IX.** Seleccionar e ingresar en la PC los parámetros para el proceso de fabricación y dar inicio (START) al proceso.
- X.** Durante el proceso de elongación y fusión se monitorizan las potencias de salida de cada una de las fibras en el monitor de la PC observando como se da el acoplamiento de ambas, determinando hasta que punto se llevará a cabo el proceso presionando el botón STOP.
- XI.** Se cierra la válvula de paso del hidrógeno.

En el caso de una fibra adelgazada el proceso a seguir es el mismo, salvo que solamente se emplea una sola fibra óptica y por lo tanto no se efectúa un trenzado. Además en este proceso los parámetros que se introducen en el software, varían en cuanto a la zona que se calienta. Esta variación es a razón de que solo se tiene que elongar la fibra óptica sin procurar la fusión con otra. Durante el proceso de fabricación de los dispositivos, la monitorización y control se realiza mediante la PC a través del software y se pueden realizar también todas las operaciones necesarias por medio del mismo o mediante el panel de control físico de la estación de trabajo.

La instalación de la máquina, sus características detalladas, así como la alimentación eléctrica y de hidrógeno, pueden ser consultadas a fondo en trabajos anteriores [11] y en el manual del fabricante [10].

### 2.1.1 Software OC-2010

El software de la máquina permite el control y monitorización del proceso de fusión de las fibras, así como el registro de los datos relevantes al proceso de fabricación. Durante la elongación y fusión de las fibras, es posible registrar datos de potencia normalizada en cada fibra, pérdidas y coeficiente de acoplamiento, entre otros. Todos los datos se almacenan en archivos para su posterior análisis mediante editores de texto y hojas de cálculo.

La pantalla que se despliega al iniciar el software (Fig. 2.4), muestra en la parte superior una barra de herramientas en la cual se aprecian varias opciones mostradas a detalle en la figura 2.3. Las opciones enumeradas son las utilizadas para controlar el proceso de fabricación de los acopladores, cada una de ellas al seleccionarla abre una nueva ventana en donde se ejecuta la función.



Fig.2.3. Barra de herramientas básicas del software OC-2010.

El detalle de las opciones enumeradas se presenta a continuación:

- 0.- Se cierra la aplicación.
- 1.- Menú donde se introducen los parámetros de fabricación.
- 2.- Abre una gráfica de algún proceso guardado anteriormente.
- 3.- Se guarda el proceso que se está visualizando en el momento.
- 4.- Ajuste de parámetros de movimiento de todos los motores.
- 5.- Movimiento manual a pasos de cada motor.

En la figura 2.4 se puede apreciar que la pantalla principal del programa de control donde se muestra en la parte inferior central 6 indicadores con fondo negro. En estos indicadores se visualizan en tiempo real los datos de potencia y transferencia de la señal para ambas fibras ópticas durante el proceso de fabricación. Los indicadores P1 y P2 muestran la potencia de la señal de los canales 1 y 2, respectivamente; el indicador P0 es la potencia inicial registrada en el canal 1 antes de comenzar el proceso de fabricación, misma que se utiliza también para normalizar las potencias registradas durante la fabricación del acoplador. El indicador CR (del inglés "Coupling Ratio") muestra el coeficiente de acoplamiento entre las dos fibras, mientras que el indicador de EL (del inglés "Excess Loss") denota las pérdidas totales en referencia con la potencia inicial de entrada, P0.

Los datos mostrados en los indicadores ya mencionados, son dibujados en la gráfica de la pantalla mostrada en la figura 2.4. El gráfico de estos datos permite observar como se va desarrollando el proceso durante la fusión y elongación de las fibras. Todos estos datos registrados se trazan en *dB* en función del tiempo (horas:minutos:segundos). Es posible obtener estas mismas gráficas en función de la longitud de elongación, siendo de utilidad para estimar posteriormente las dimensiones de los dispositivos fabricados.



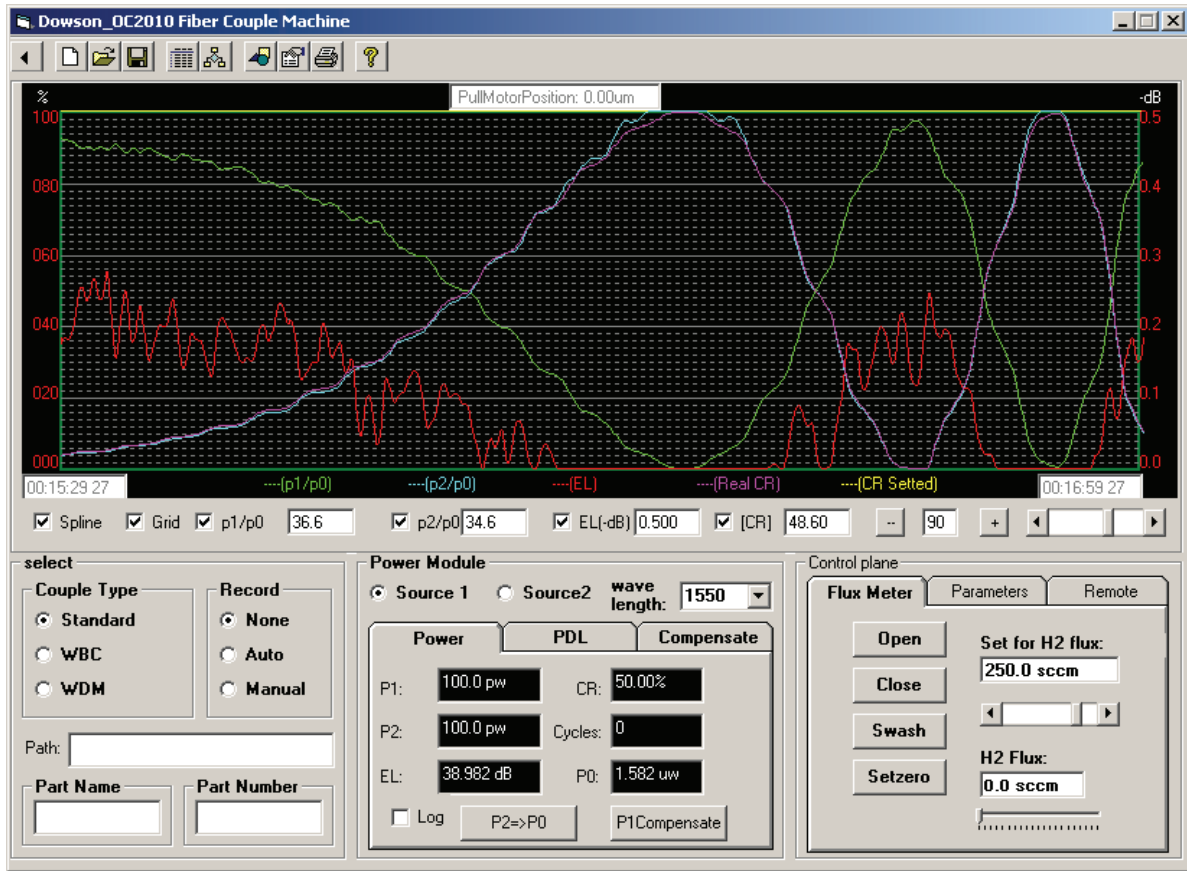


Fig. 2.4. Pantalla del software OC-2010.

## 2.2 Fabricación de fibras adelgazadas y de acopladores de fibra óptica

Las fibras ópticas adelgazadas y los acopladores utilizados para este trabajo se fabricaron con fibra óptica monomodal estándar SMF-28e. La señal de entrada a la fibra óptica conectada al canal uno de la máquina, fue proporcionada por una fibra láser sintonizable en longitud de onda ensamblada en el laboratorio. El arreglo esquemático de este sistema láser se muestra en la figura 2.5.

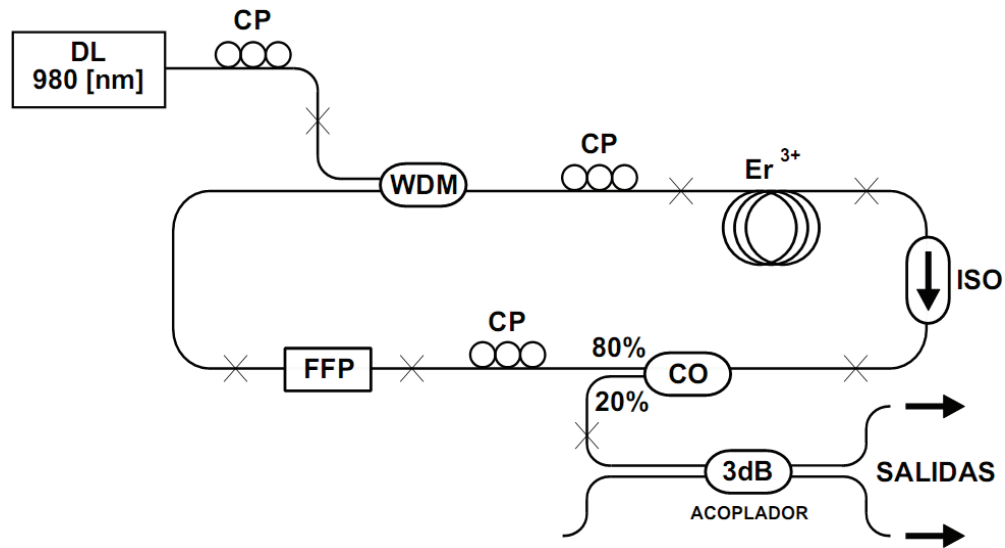


Fig. 2.5. Diagrama de la fibra láser sintonizable utilizada para fabricar acopladores (la simbología utilizada en la figura se detalla en el texto).

La fibra láser sintonizable emplea para su funcionamiento una fuente de alimentación para regular la temperatura y corriente suministrada al diodo láser (DL). Este es un láser semiconductor que emite una señal de salida de 980 *nm* empleada como energía de bombeo para la fibra láser de erbio. El segmento de fibra dopada con erbio ( $\text{Er}^{3+}$ ) proporciona la ganancia del láser en anillo en la región espectral de 1550 *nm*. Para que la luz generada en el anillo viaje en una sola dirección, se utiliza un aislador óptico (ISO), sirviendo también para bloquear la señal de 980 *nm* que no ha sido absorbida por la fibra de erbio. El anillo incluye un filtro sintonizable de Fabry Perot, el cual cambia su longitud de onda de operación al aplicarle un voltaje; dentro del anillo también se incluyen controladores de polarización (CP), para ajustar la polarización del haz generado dentro del mismo. Finalmente, la salida de la fibra láser sintonizable se toma de un acoplador (CO) con un coeficiente de acoplamiento de 80/20.

### 2.2.1 Metodología y parámetros de fabricación

Los parámetros de fabricación que se ajustan en el software, son los que determinan el acoplamiento entre las dos fibras ópticas, así como las pérdidas en las fibras adelgazadas.

Los parámetros más relevantes son:

1. Flujo de hidrógeno, el cual determina la temperatura de calentamiento de las fibras.
2. Altura de la antorcha con respecto a las fibras.
3. Elongado inicial para tensar las fibras sin aplicar calor.
4. Velocidad de elongación de las fibras durante el proceso.
5. Longitud y velocidad de barrido de la antorcha.

Estos parámetros mencionados arriba definen características importantes del acoplador, como lo es su velocidad de fabricación. Por otro lado, estos mismos parámetros determinan las pérdidas, el diámetro de la zona de acoplamiento y longitud del acoplador; asimismo, la región de acoplamiento adquiere sus propiedades y determina como serán las señales a la salida del acoplador. Los parámetros adecuados para el proceso de fabricación se definen en relación a la mínima cantidad de pérdidas al fabricar un dispositivo, y son característicos de la fibra óptica a utilizar para fabricar los dispositivos.

Los parámetros con los que se lograron fabricar fibras adelgazadas y los acopladores de manera exitosa se determinaron de manera experimental. Se utilizaron como base los trabajos anteriores realizados por alumnos en esta misma estación de trabajo [5, 11], obteniéndose acopladores con bajas pérdidas y de una manera repetible. De igual manera, fue posible fabricar fibras adelgazadas con pérdidas muy bajas, mismas que se reportarán en las siguientes secciones de este capítulo. Los parámetros de fabricación empleados se listan en la tabla 2.1. Hay que recordar que estos parámetros de fabricación sólo son válidos para el tipo de fibra óptica utilizada (SMF-28e), ya que el hacer uso de otro tipo de fibra requerirá realizar el proceso de calibración mencionado anteriormente.

Tabla 2.1. Parámetros de fabricación para las fibras adelgazadas y los acopladores.

PARÁMETRO	ACOPLADOR	F. ADELGAZADA
Flujo de hidrógeno (H <sub>2</sub> )	250.0 [sccm]	250.0 [sccm]
Altura de la antorcha	3.0 [mm]	2.75 [mm]
Estirado inicial de las fibras	0.0 [mm]	0.0 [mm]
Velocidad de jalado	0.02 [mm/s]	0.02 [mm/s]
Desplazamiento de barrido de la antorcha	3.0 [mm]	6.0 [mm]
Velocidad de barrido de la antorcha	5.0 [mm/s]	5.0 [mm/s]

Algo que también es importante mencionar es el trenzado de las fibras y su fijado en la máquina. Se intentaron varias posiciones y número de vueltas entre las fibras, pero la manera en la que resultó ser más efectiva y arrojó menos pérdidas al momento de fusionarse fue haciendo un trenzado en el cual una de las fibras le da 2 ½ vueltas a la otra. Para el posicionamiento se fijó primero en el segundo sujetador (situado a la derecha y más cercano a los detectores) el CH2 y después el CH1, haciendo el trenzado entre las fibras y colocando por lo tanto en el primer sujetador (situado a la izquierda y que da hacia la fuente de luz) primeramente el CH1 y posteriormente el CH2, como se ilustra en la figura 2.6.



Fig. 2.6. Trenzado de fibras ópticas para el proceso de fusión.

### 2.2.2 Fibras ópticas adelgazadas

Las fibras adelgazadas se fabrican para exponer de manera más pronunciada la onda evanescente al medio externo. Con esto se obtiene un dispositivo que tiene la capacidad de cambiar su transmisividad al deformarse o al cambiar el índice de refracción del medio que lo rodea. La ventaja de estos dispositivos es que las pérdidas

son bajas, son más fáciles de fabricar y que pueden ser más robustos que un acoplador.

En la figura 2.7 se muestra una curva típica obtenida en el proceso de fabricación de una fibra óptica adelgazada. Las pérdidas registradas para estos dispositivos están dentro de un rango de 0.3 y 0.4  $dB$ , lo cual es aceptable para el desarrollo de dispositivos de fibra óptica.

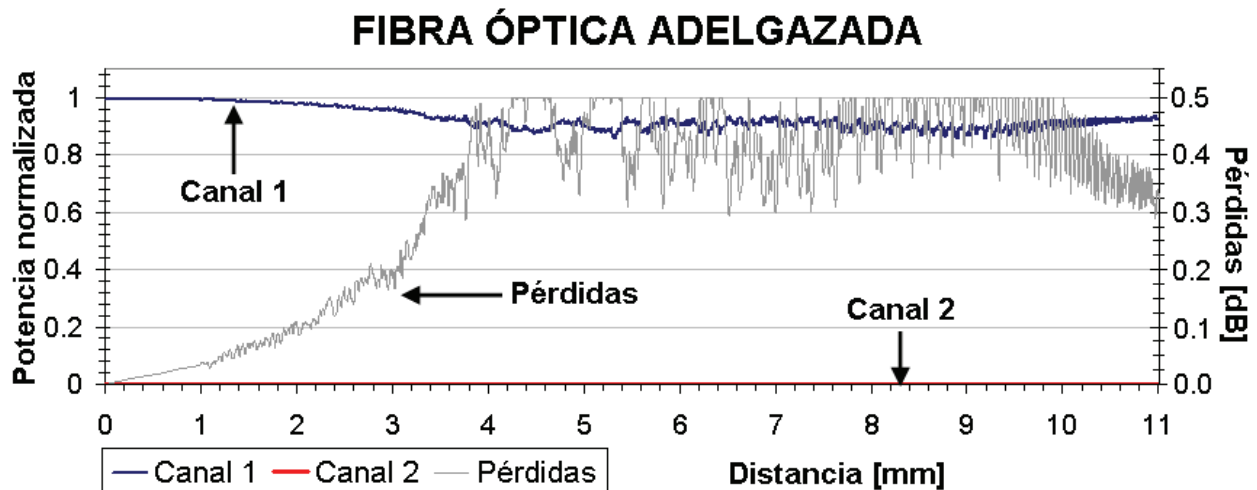


Fig. 2.7. Curva de potencia obtenida de la fabricación de una fibra adelgazada.

Se muestran las pérdidas obtenidas en el dispositivo durante su fabricación. El canal 2 al no tener señal presenta una potencia nula.

### 2.3 Caracterización de acopladores

Al fabricar los acopladores de fibra óptica se presenta una transferencia de la señal entre las fibras. La figura 2.8 muestra una curva típica de transferencia de potencia obtenida durante el proceso de fabricación de estos dispositivos. Inicialmente, la señal proveniente del láser sintonizable se alimenta a la fibra conectada al canal 1, donde al presentarse el proceso de elongación y fusión, la potencia comienza a transferirse al canal 2. El proceso de acoplamiento se repite de manera cíclica, siendo la razón de que se registren diversos ciclos de transferencia de potencia entre ambas fibras. Típicamente, la fabricación de acopladores se basa en

detener el proceso antes de que la potencia se transfiera por completo a la fibra del canal 2. Sin embargo, para este trabajo se utilizaron acopladores con más ciclos de transferencia de potencia, debido a que estos son más sensibles a los cambios en el índice de refracción del medio externo. Este tipo de acopladores se conocen como acopladores sobre acoplados.

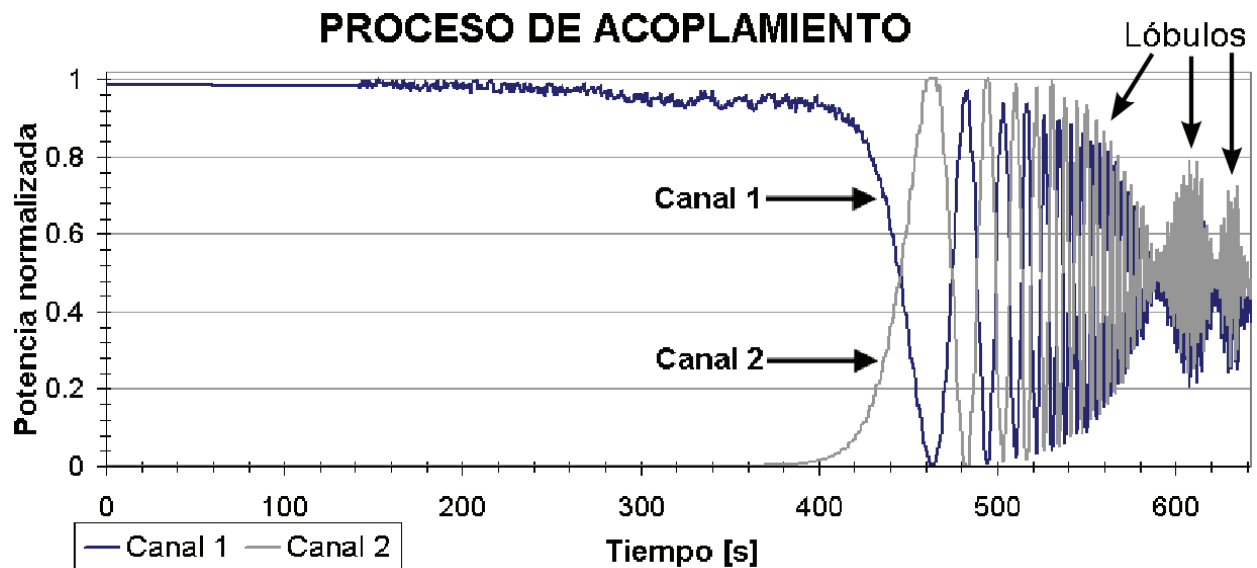


Fig. 2.8. Curva de transferencia de potencia de un acoplador de fibra óptica sobre acoplado.

Al fabricar acopladores sobreacoplados se continúa registrando ciclos de transferencia de la señal óptica entre las dos fibras. Cuando la región de acoplamiento se hace más delgada, estos ciclos de transferencia se van agrupando en lóbulos, como se puede apreciar en la figura 2.8. Los lóbulos son la envolvente de la curva de transferencia de potencia y se obtienen al extender el tiempo del proceso de elongación y fusión. La ventaja que se obtiene al tener un mayor número de lóbulos (esto es, más ciclos de transferencia de potencia) es que la sensibilidad de la región de acoplamiento se incrementa, aunque las pérdidas de señal aumentan y la resistencia mecánica del dispositivo es muy baja debido a que la elongación de las fibras es grande.

La cantidad de lóbulos obtenidos en los acopladores determina la presencia de bandas espectrales en las propiedades de transmisión del dispositivo (Fig. 2.9).

Mientras mayor sea el número de ciclos de transferencia de potencia, se tendrá una mayor selectividad en longitud de onda y el ancho espectral será menor. Además, para longitudes de onda más grandes se registrarán mayores pérdidas al ser la región de acoplamiento muy delgada y no poder confinar la onda. Otra característica de los acopladores sobreacoplados es que la potencia de las bandas es complementaria en cada uno de los canales, es decir, cuando la potencia en un canal es mínima, en el otro canal será máxima.

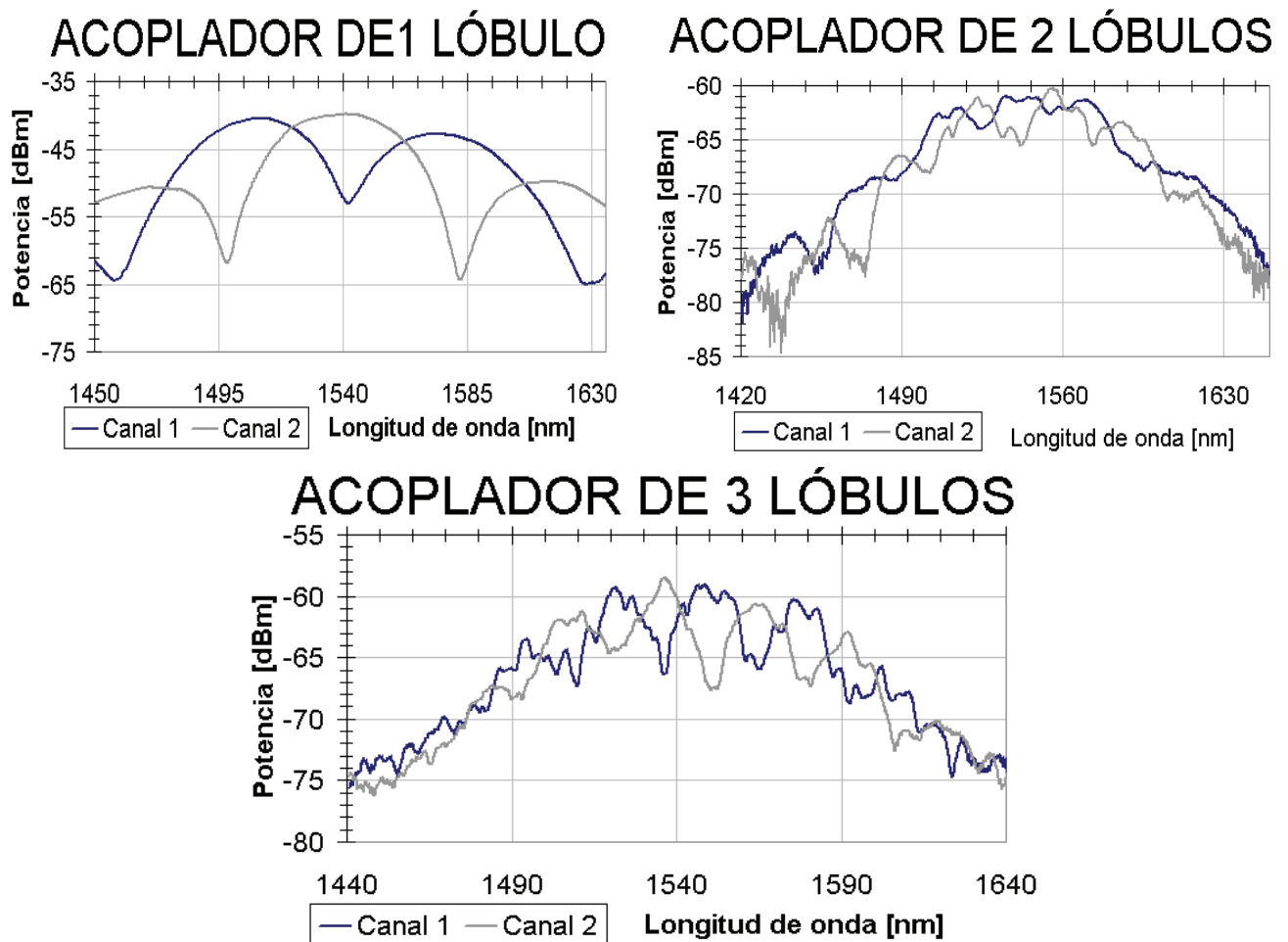


Fig. 2.9. Bandas espectrales en acopladores sobreacoplados según su número de lóbulos.

El mayor problema al incrementar el número de lóbulos es el del adelgazamiento, ya que es sumamente complicado manipular el acoplador una vez terminado el calentamiento y elongado. El solo hecho de desmontar el acoplador de la

máquina involucra un gran riesgo de fractura del dispositivo; asimismo, el recubrirlo con alguna sustancia requiere de cuidados especiales.

### 2.3.1 Cambios en el índice de refracción externo

Como ya se comentó debido a la elongación, los diámetros tanto del núcleo como del revestimiento en las fibras ópticas se ven disminuidos de manera proporcional. El adelgazamiento en la región de acoplamiento es tal, que el núcleo de la fibra óptica deja de ser el medio por donde se propaga la onda y el revestimiento funge como núcleo de la guía de onda.

La potencia de salida del acoplador depende del medio que lo rodea, específicamente de su índice de refracción. Estudios sobre esto ya han sido realizados en otros trabajos [9]; la figura 2.10 muestra la curva de potencia a la salida de un acoplador en función del índice de refracción externo. En este caso, el acoplador tiene las siguientes características:  $a_{\text{cintura}} = 5.3586 \mu\text{m}$ , longitud de estirado de  $40 \text{ mm}$ , barrido de la antorcha de  $6.35 \text{ mm}$ , índice de refracción del núcleo  $n_1 = 1.461$ , índice de refracción del revestimiento  $n_2 = 1.458$ . La longitud de onda de operación empleada es  $\lambda = 1300 \text{ nm}$ . En la figura se puede ver claramente que conforme cambia el índice del medio externo la potencia de salida varía. Nótese que cuando el índice de refracción del medio externo ( $n$ ) es mayor al del revestimiento de la fibra, la onda ya no se guía en la región de acoplamiento.

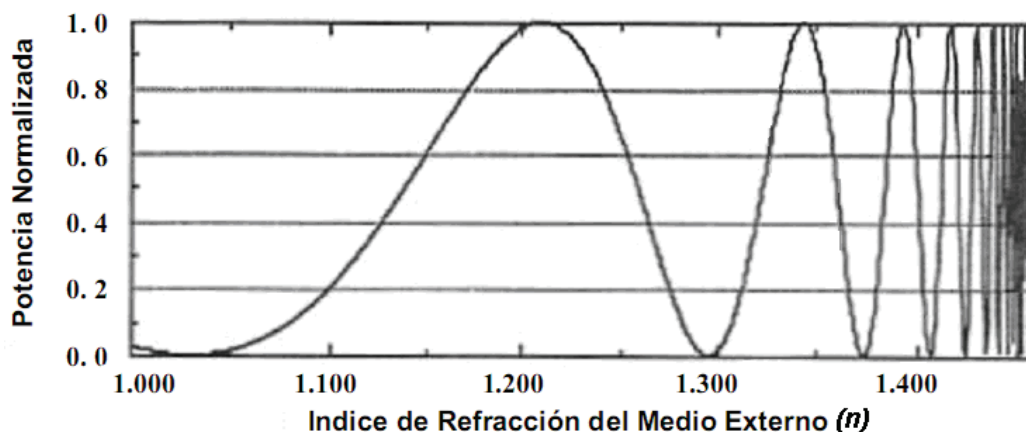


Fig. 2.10. Curva de potencia en función del índice de refracción del medio externo ( $n$ ) [9].



Para caracterizar los acopladores se utilizó un diodo emisor de luz o LED (por sus siglas en inglés "Light Emitting-Diode") que cuenta con salida acoplada a fibra óptica, con ancho espectral mayor de 100 nm y cuyo espectro de emisión se muestra en la figura 2.11. Las propiedades espectrales de los dispositivos fabricados se obtuvieron al registrar la transmisividad en un analizador de espectros ópticos u OSA, por sus siglas en inglés ("Optical Spectrum Analyzer") (Fig. 2.12). Además, fue posible registrar las variaciones en estos espectros de transmisión al aplicar perturbaciones en la región de acoplamiento de los dispositivos, o bien, al cambiar el índice de refracción externo.

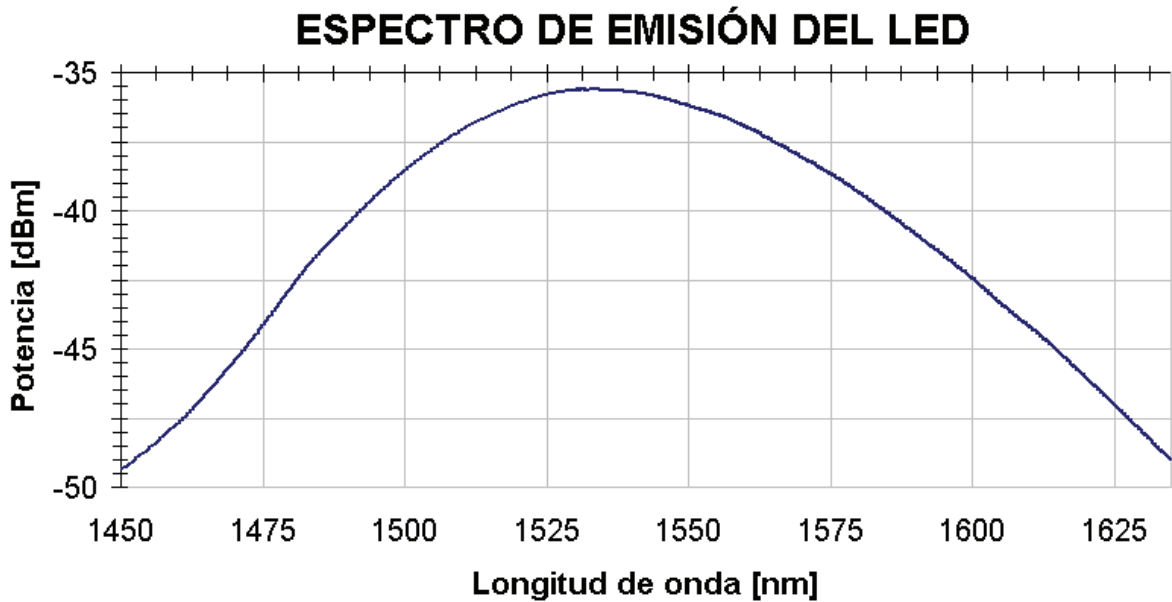


Fig.2.11. Espectro de emisión del LED.

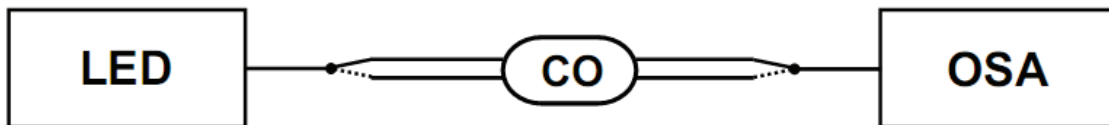


Fig. 2.12. Esquema de caracterización de acopladores (CO) de fibra óptica.

La obtención del espectro de transmisión se realizó empleando en las fibras de entrada una fuente de luz (LED) y detectando la señal en las fibras de salida con un analizador de espectros ópticos (OSA).

Los efectos al cambiar el índice de refracción externo se muestran en la figura 2.13. Cuando el medio externo es aire, el cual tiene un índice de refracción de 1.00029 ó 1 para fines prácticos, se obtiene un espectro característico de transmisión de los dispositivos. Al ser introducido el acoplador en agua, cuyo índice de refracción es aproximadamente 1.333, el espectro de transmisión se modifica como también aprecia en la misma figura. El índice de refracción del agua cambia al variar la temperatura, viéndose reflejado en las propiedades de transmisión del acoplador. Para observar esto, se registraron espectros de transmisión calentando el agua con el acoplador dentro de este líquido [34]. Al cambiar el índice de refracción del agua, el espectro de transmisión del acoplador se modifica también originando variaciones en las bandas espectrales de transmisión, variando la amplitud de la señal. La figura 2.14 muestra varios espectros registrados al incrementar la temperatura del agua desde 25 °C hasta 70 °C.

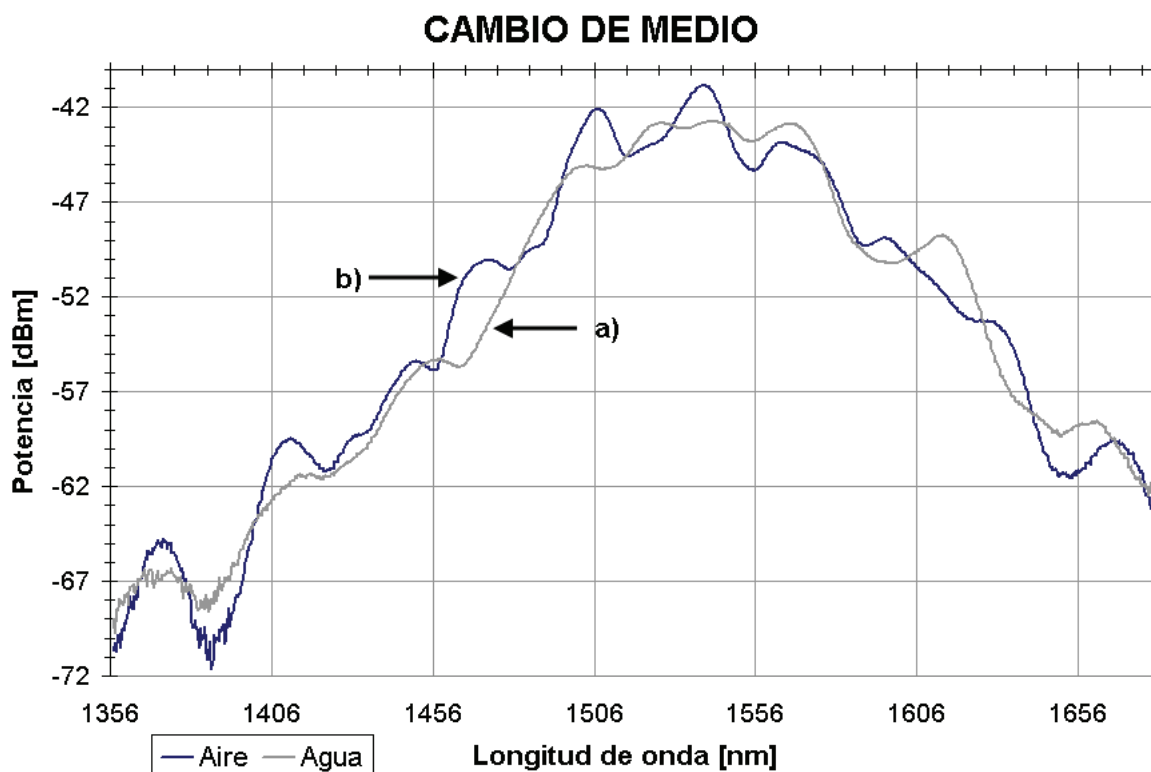


Fig. 2.13. Espectro de transmisión de un acoplador (2 lóbulos) con distintos medios externos: a) aire y b) agua.

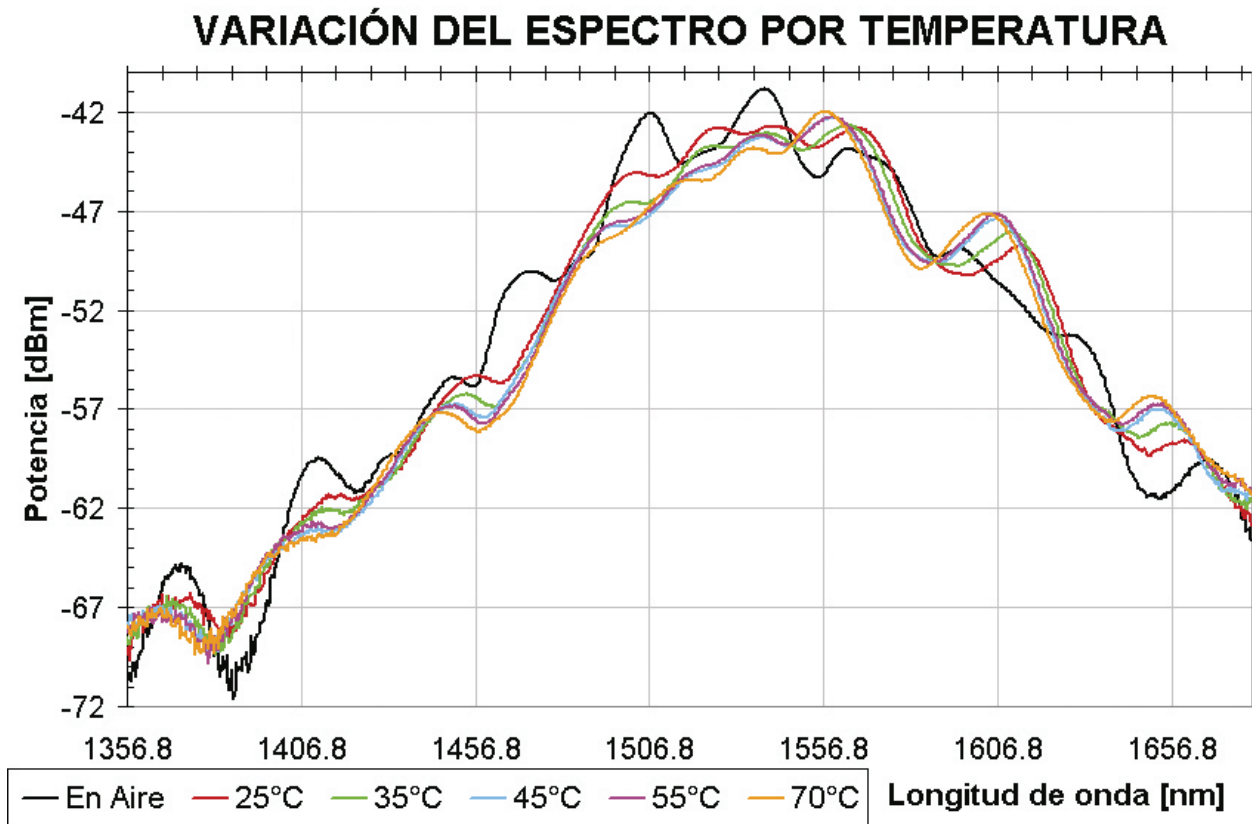


Fig. 2.14. Variación del espectro de transmisión de un acoplador para distintas temperaturas del medio externo (agua).

Otra prueba que se realizó con los acopladores para probar su sensibilidad a variaciones en el medio externo consistió en perturbar la región de acoplamiento. Una vez sumergido el acoplador dentro de agua se inyectaron pequeñas burbujas de aire debajo de esta región para que hicieran contacto con el dispositivo. La interacción de las burbujas con el acoplador genera cambios localizados en el índice de refracción, además de inducir pequeñas deformaciones en la región adelgazada.

En la figura 2.15 se puede apreciar como es que al liberar una ráfaga de burbujas provenientes de una jeringa delgada, se generan varios pulsos en el espectro de transmisión del acoplador. Las perturbaciones se registran sobre la envolvente del espectro y al cesar las burbujas este regresa a su estado original. Para fines comparativos, se incluyen en la gráfica los espectros registrados cuando el acoplador tiene como medio exterior el aire, agua a temperatura ambiente (25 °C) y las perturbaciones debido a las burbujas.

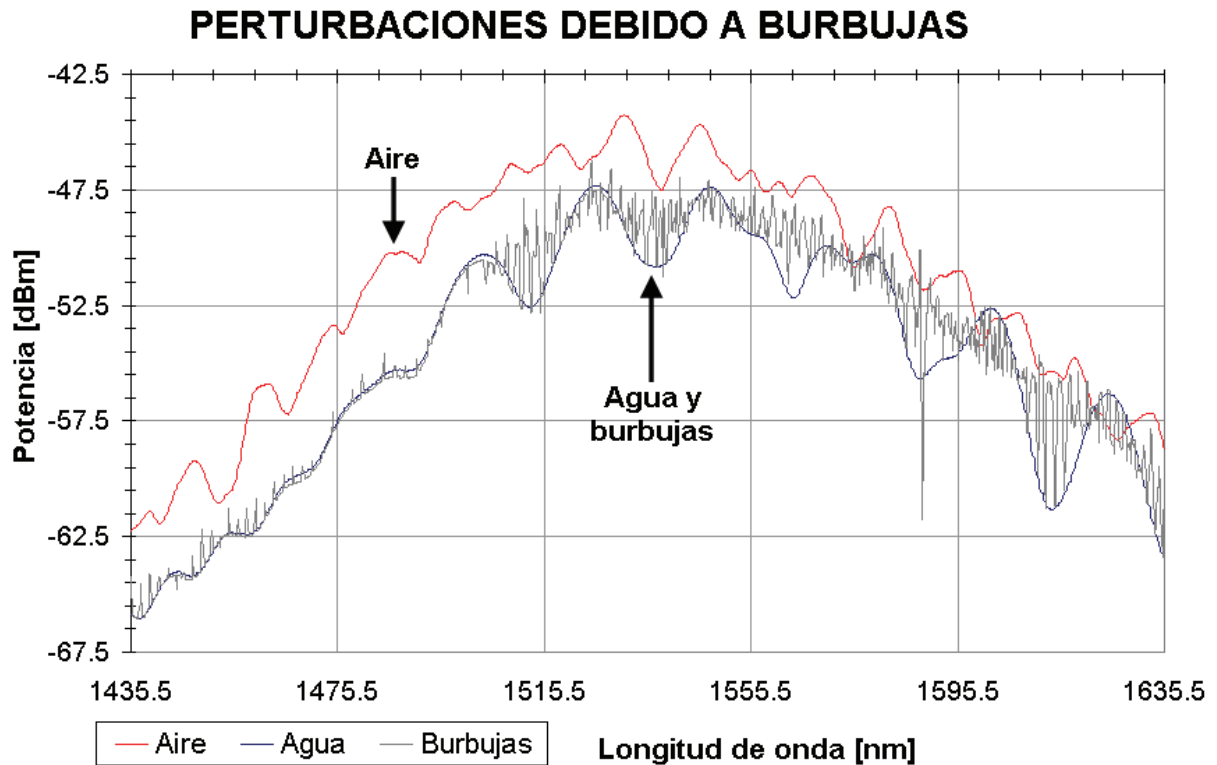


Fig. 2.15. Perturbaciones en el espectro de transmisión de un acoplador debidas a la interacción con burbujas de aire.

En la figura 2.16 se muestra un acercamiento en una región del espectro donde se pueden apreciar mejor los pulsos generados por la interacción con las burbujas. Las señales de perturbación generadas son muy angostas y la frecuencia con la que se presentan se atribuye a la velocidad con la que fueron liberadas las burbujas. Estos cambios en el espectro pueden deberse a deformaciones inducidas en la región de acoplamiento por las burbujas, o bien, por la diferencia de índice de refracción entre el aire y el agua. De esta manera se muestra que los dispositivos fabricados son útiles para detectar perturbaciones en la vecindad de la región de acoplamiento.

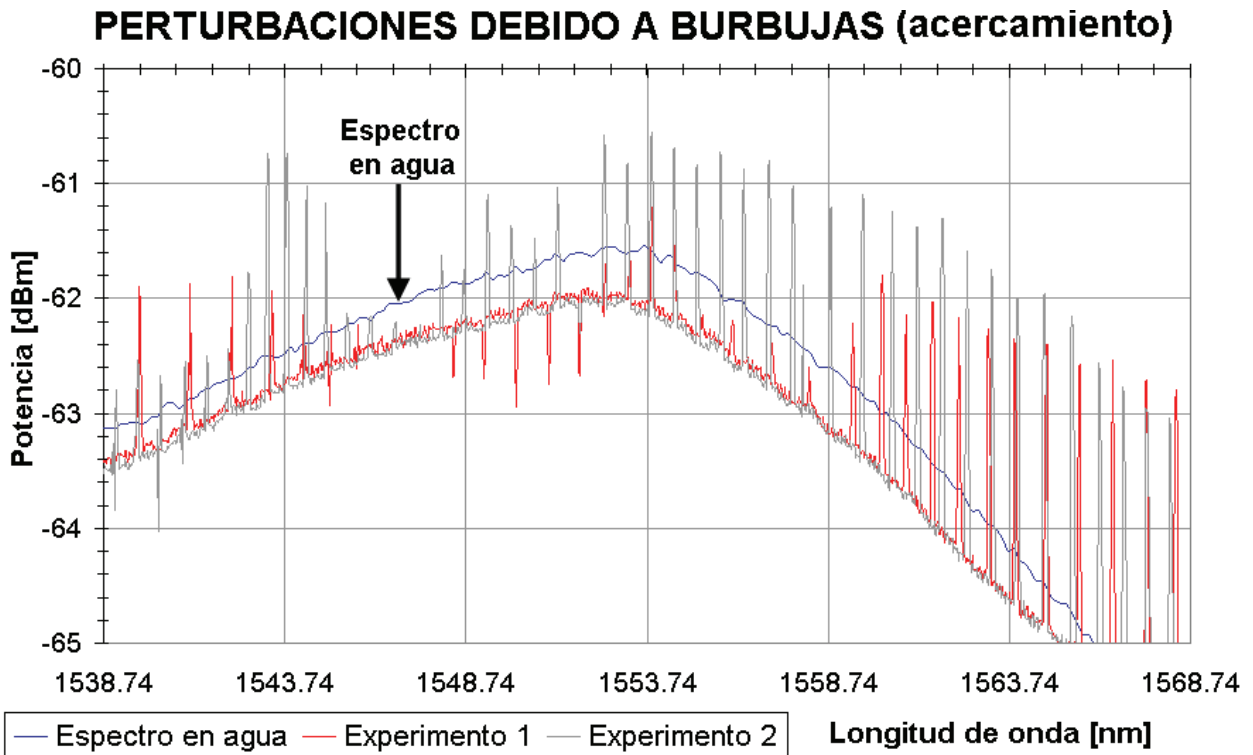


Fig. 2.16. Detalle del espectro de transmisión de un acoplador sumergido en agua al interactuar con burbujas de aire.

Como conclusión, en este capítulo se presentó el trabajo realizado para la fabricación de los dispositivos de fibra óptica (fibras adelgazadas y acopladores) y se obtuvieron los parámetros de fabricación óptimos para cada caso obteniendo bajas pérdidas. Se observó que la región de acoplamiento siempre interactúa con el medio externo, teniendo la capacidad de responder a las variaciones de este, de tal manera que los dispositivos cambiarán su respuesta en la medida de los cambios que presente el medio externo. Si el medio consiste en alguna sustancia o compuesto que presente alguna variación ante un cierto estímulo, como en el caso de los azobencenos tratados en el siguiente capítulo, las propiedades de estos dispositivos tendrán una respuesta característica dada por sus componentes.