

4.- RESULTADOS.

4.1.-PROCEDIMIENTO PARA FABRICAR ACOPLADORES FUSIONADOS.

En esta sección se mencionarán las generalidades del proceso de fabricación de los acopladores y sus características típicas. Una descripción más detallada puede consultarse en el apéndice 1 o bien, en la versión original del manual de la maquina.

A partir de este punto, los resultados y graficas mostradas fueron obtenidas en el laboratorio durante el proceso de fabricación de acopladores. Es importante hacer notar que el manual original de la máquina, no proporciona valores para los parámetros que pueden ajustarse durante el proceso de fabricación. De esta manera, todos los resultados mostrados en esta sección fueron obtenidos en el laboratorio mediante el ajuste adecuado de estos parámetros.

Por otro lado es relevante mencionar que dicho trabajo fue realizado con fibras ópticas monomodo estándar SMF28; cuyas características y especificaciones técnicas se pueden observar a detalle en el apéndice 2.

El primer paso para fabricar los acopladores fusionados es colocar las fibras en los fotodetectores y en el extremo opuesto de una de ellas (a la cual llamaremos fibra 1) acoplar una fuente de luz que proporcione la potencia óptica necesaria durante el proceso. Posteriormente, se retira el recubrimiento plástico de ambas fibras en la zona donde se realiza el acoplamiento; las fibras se colocan después en los rieles sujetadores y mediante la bomba de vacío se mantienen juntas durante el proceso de fabricación. Un aspecto importante que debe cuidarse durante el proceso es la limpieza de las fibras. Antes de colocarlas en los rieles, la sección de las fibras en la que se ha removido el recubrimiento debe limpiarse cuidadosamente con metanol y acetona. Una vez limpias, debe tenerse cuidado en no contaminar esta sección con polvo o grasa, pues esto generará pérdidas en el acoplador. Finalmente se comienza la elongación y el calentamiento de ambas fibras hasta que se logre la fusión; el acoplamiento entre las fibras puede observarse en la computadora, que muestra en tiempo real las gráficas de transferencia de potencia entre las fibras.

Los parámetros utilizados para fabricar acopladores fueron los que se obtuvieron durante la fabricación de fibras elongadas. Inicialmente se utilizó una fuente de luz de espectro amplio (un LED), con un rango espectral que cubre desde los 1450 hasta los 1600 nm. En la figura 10, podemos observar las características del acoplamiento de potencia entre las fibras ópticas durante la fabricación del acoplador. La gráfica en color verde representa la potencia en la fibra uno, la gráfica en color azul la potencia en la fibra dos y la gráfica de color rojo las pérdidas de potencia. La curva de color morado representa la razón de acoplamiento real instantánea que se obtiene durante la elongación de las fibras. Nótese que en este caso el proceso se detuvo al obtenerse un acoplamiento ligeramente mayor a 50% entre ambas fibras. Esta gráfica representa entonces una curva típica para un acoplador de 3 dB.

En la gráfica de la figura 10 podemos observar que la potencia es máxima en la fibra 1 (curva verde) al principio del proceso. Por su parte, la potencia en la fibra 2 (curva azul) parte de cero, y cuando la luz comienza a acoplarse, la potencia en la fibra uno empieza a disminuir y en la fibra dos comienza a aumentar. Cuando estas curvas se juntan por primera vez se llega al punto de 3dB; es decir, se tiene el 50% de la energía en ambas fibras. Éste es el proceso típico de fabricación para este tipo de acopladores, y las longitudes de elongación requeridas dependen del material de las fibras ópticas utilizadas. En este caso, se utilizó fibra monomodal estándar y la longitud de elongación de las fibras para alcanzar el punto de 3 dB fue de 13.39 mm; el tamaño del acoplador resultante es de aproximadamente 2 cm. Como puede apreciarse en la figura, la curva de color rojo indica que el dispositivo presenta pérdidas de aproximadamente 0.19 dB.

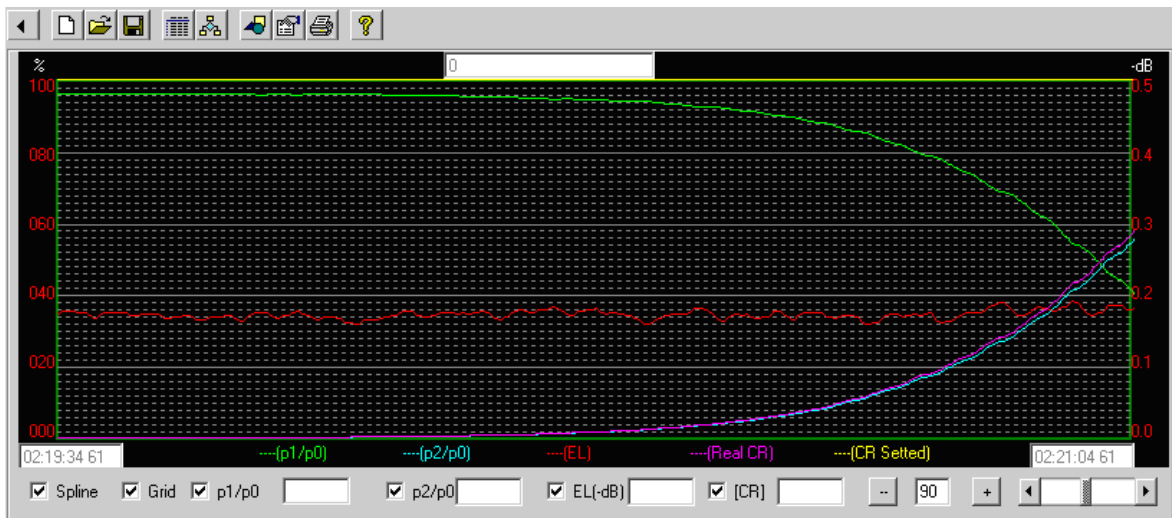


Figura 10 Gráfica de un acoplador fusionado de banda ancha de 3 dB. Potencia Normalizada vs Longitud de Elongación.

Con el analizador de espectros ópticos se observaron las propiedades espectrales de los acopladores. Un ejemplo típico de la transmisión a través de uno de estos dispositivos se muestra en la figura 11. Para esta caracterización se utilizó un LED acoplado a una de las fibras, y el espectro de transmisión fue registrado a la salida de cada una de las fibras. En color gris se muestra el espectro del LED, y en color verde y azul el espectro de la luz a la salida de la fibra uno y dos, respectivamente.

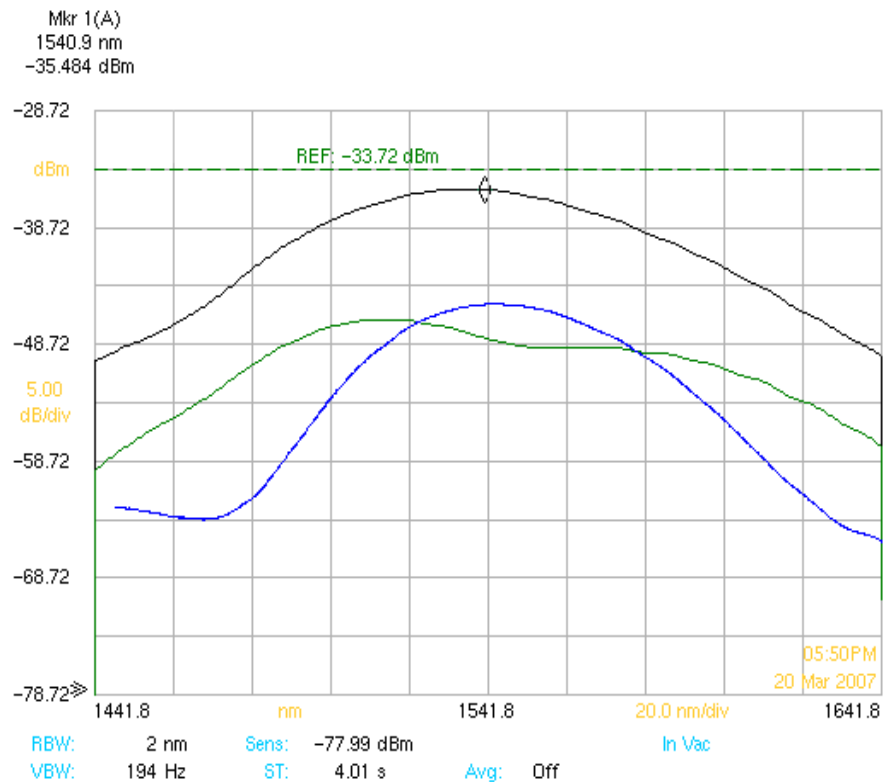


Figura 11 Curva espectral de un acoplador fusionado de 3 dB.

A partir del espectro de transmisión podemos ver que existe un acoplamiento entre las dos fibras. Esto puede reconocerse por las intersecciones que existen entre las líneas de color verde y azul; la región delimitada por estas intersecciones indica todas las longitudes de onda a las cuales el dispositivo puede realizar el acoplamiento entre ambas fibras. En este caso, la región espectral de acoplamiento comprende un poco más de 40 nm. Un punto importante es que para este caso se utilizó una fuente de luz con espectro amplio, y por tal motivo, el dispositivo es un acoplador de banda ancha. Este aspecto es importante y debe tomarse en cuenta durante el proceso de fabricación: para acopladores de banda ancha se requiere de una fuente de luz con un ancho espectral adecuado, mientras que para acopladores selectivos en longitud de onda es necesario utilizar una fuente de luz láser. Esto se debe a que el proceso de fabricación involucra únicamente el monitoreo de la potencia que se transfiere entre las fibras, sin importar la longitud de onda de la fuente de luz utilizada. De esta manera, para fabricar dispositivos selectivos en longitud de onda

(WDMs, o acopladores con sobre-acoplamiento) es necesario utilizar fuentes de luz láser con el ancho espectral y la longitud de onda adecuada.

Para fabricar acopladores sobre-acoplados se utilizó una fibra láser sintonizable en el rango de 1535 a 1565 nm, con un ancho espectral de aproximadamente 0.12 nm.

Las características de la transferencia de potencia entre ambas fibras durante el proceso de fabricación de uno de estos dispositivos se muestran en la figura 12. Las curvas de transferencia de potencia obtenidas para este dispositivo son típicas de un acoplador sobre-acoplado. Como puede verse, la transferencia de potencia ocurre varias veces durante el proceso de fabricación. Esto se debe a que la elongación de las fibras continúa más allá del punto de 3 dB. Otra característica importante que puede verse en la figura es el comportamiento de la envolvente de la amplitud de las curvas: ésta presenta también un comportamiento periódico. Esto se debe a fenómenos de polarización que se presentan en la región de acoplamiento y no serán discutidos en este trabajo.

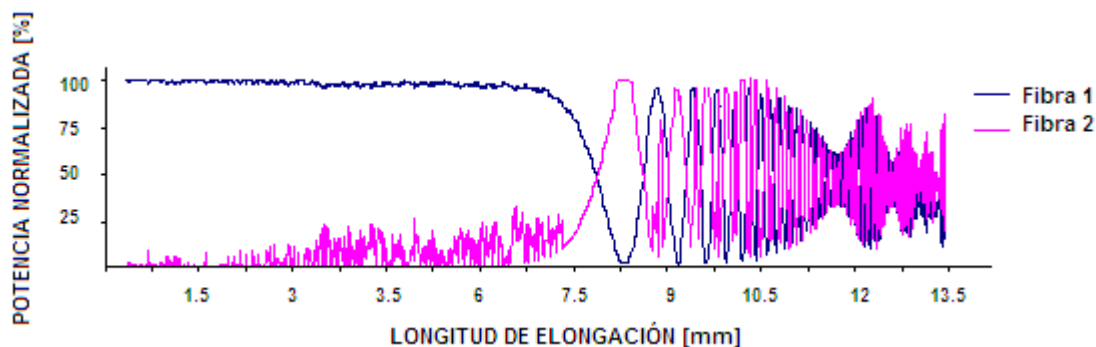


Figura 12 Grafica representativa de un acoplador fusionado de 3 dB utilizando una fuente de luz laser.

Los acopladores sobre-acoplados presentan una transmisión espectral angosta, que como veremos posteriormente, depende del número de ciclos de transferencia de potencia alcanzados durante su fabricación. La figura 13 muestra el espectro de transmisión de un acoplador con más de 100 ciclos de transferencia de potencia. Al igual que para el acoplador de banda ancha, el espectro se obtuvo con un LED y el analizador de espectros ópticos. Nótese que para el mismo rango espectral mostrado anteriormente (1400 nm a 1700 nm) existen ahora más regiones espectrales de acoplamiento. En este caso, existen más de seis zonas espectrales de acoplamiento.

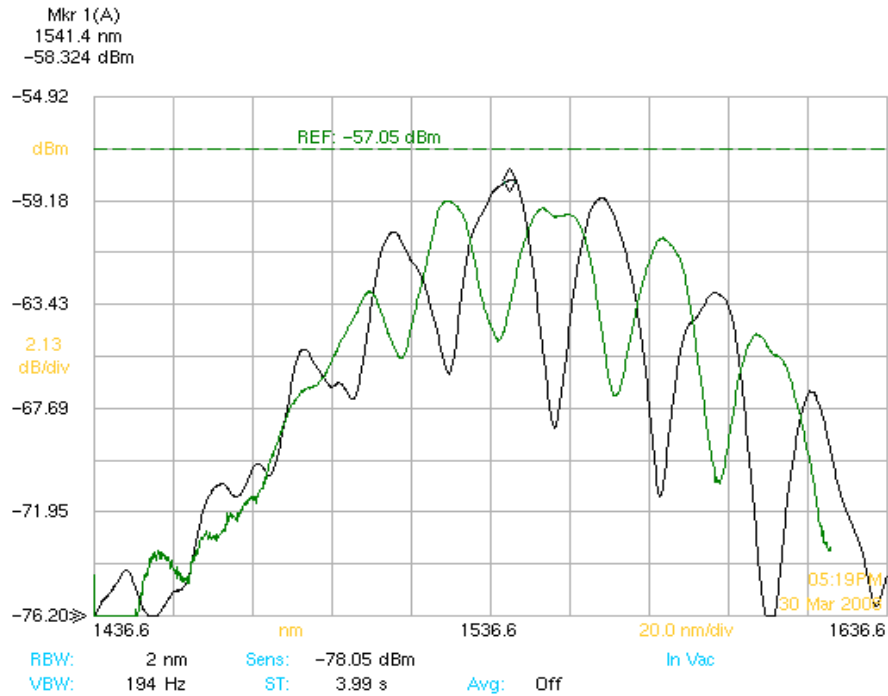


Figura 13 Curva espectral de un acoplador sobre-acoplado.

4.2.- CARACTERÍSTICAS DE TRANSFERENCIA DE POTENCIA EN FUNCIÓN DE LONGITUD DE ELONGACIÓN.

La longitud de elongación determina las características de acoplamiento entre las fibras ópticas y establece las dimensiones físicas de la sección del cuello del acoplador. Como hemos visto en la sección anterior, la transferencia de potencia entre las fibras del acoplador es más frecuente a medida que la longitud de elongación aumenta. Esto se debe a que el cuello del acoplador se hace más angosto y las condiciones de acoplamiento entre los modos de esta nueva guía de onda son diferentes a las que presenta la fibra óptica con sus dimensiones originales.

En la figura 14, puede observarse la curva de transferencia de potencia en función de la longitud de elongación más allá del primer cruce por 3 dB. Es claro que a medida que el proceso avanza, la transferencia de energía ocurre para longitudes de elongación menores. Nótese también que el punto de 3 dB ocurre varias veces durante el proceso de elongación, lo cual implica que puede fabricarse un acoplador de 3 dB sobre-acoplado.

Como se observó en la sección anterior, la diferencia entre un dispositivo de este tipo y uno fabricado con un solo cruce por el punto de 3 dB es el espectro de transmisión.

Otro aspecto importante referente a la longitud de elongación es la sensibilidad del acoplador a los cambios en el índice de refracción del medio externo. A medida que el cuello del acoplador se hace más angosto, la onda de luz queda más expuesta al medio externo en esta región del dispositivo. Como vimos en la sección correspondiente, el coeficiente de acoplamiento depende del índice de refracción del medio externo y las dimensiones de la guía de onda, y es por esta razón que los acopladores con un número mayor de ciclos de transferencia son más sensibles a cambios en el medio que rodea a la sección de acoplamiento.

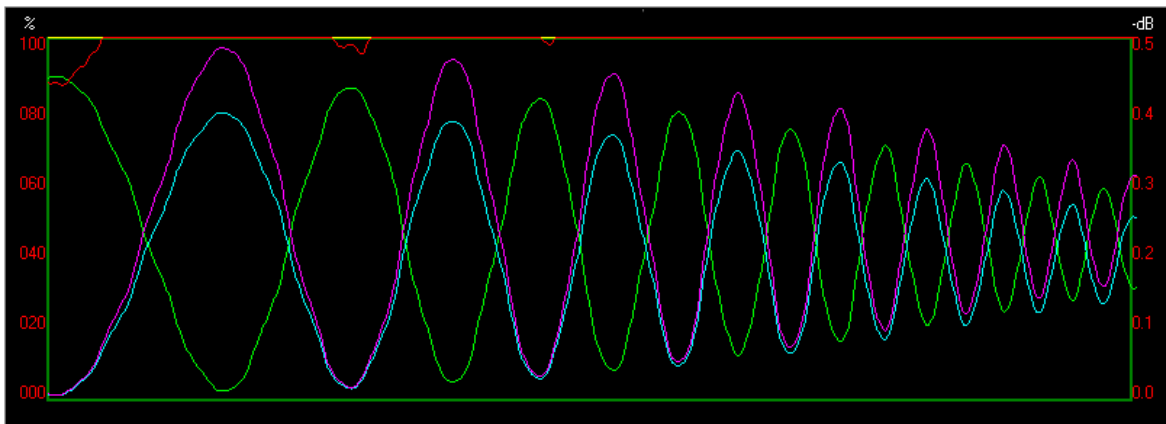


Figura 14 Grafica de un acoplador fusionado de 3 dB. Potencia Normalizada vs Longitud de Elongación.

En la figura 15 se muestra el final del proceso de elongación. Al final de esta etapa, el acoplador está tan angosto que ya no hay transferencia de energía entre las fibras. La longitud de elongación a la cual se presenta este comportamiento depende de la geometría de las fibras y de los parámetros de fabricación utilizados en la máquina.

Si la elongación continúa mucho más allá de este punto, la sección del cuello del acoplador se rompe y los detectores indicarán que no hay recepción de potencia óptica en ninguna de las fibras. Mediante ajustes en los parámetros de fabricación, debe ser posible lograr acopladores con un mayor número de ciclos de transferencia. De manera general, se puede mencionar que para lograr esto se requiere ajustar la zona de calentamiento en el

proceso de fabricación, lo cual implica buscar los parámetros adecuados para el flujo de hidrógeno, la posición y la velocidad de barrido de la flama.

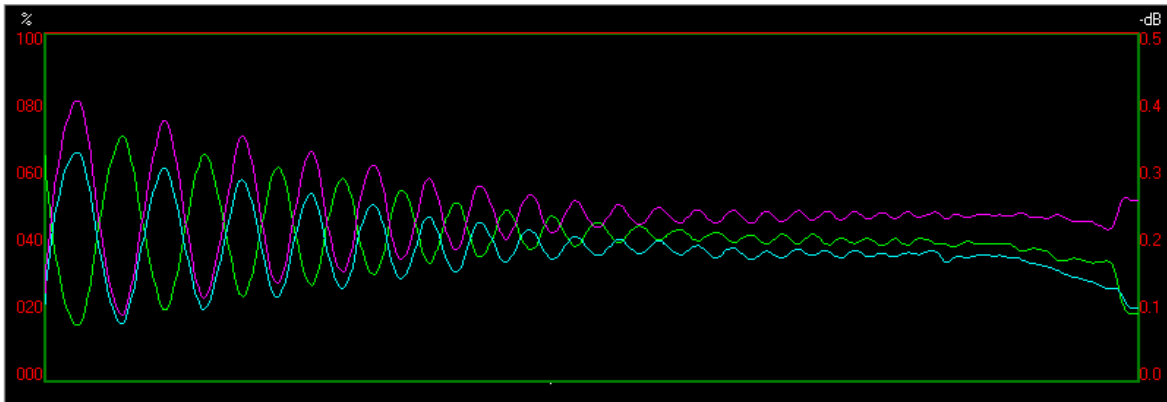


Figura 15 Grafica del proceso de elongación de un acoplador fusionado de 3 dB. Potencia Normalizada vs Longitud de Elongación.

4.3.- CARACTERÍSTICAS ESPECTRALES DE ALGUNOS ACOPLADORES FUSIONADOS.

Para analizar el sobre-acoplamiento de los acopladores fabricados, se estudiaron las características espectrales de tres tipos de acopladores. La diferencia entre estos dispositivos es el número de veces que la envolvente de las curvas de transferencia de potencia se cierra a un valor cercano al 50%. De manera arbitraria, se definieron estas zonas como lóbulos, y dentro de cada una de ellas se presentan varios ciclos de acoplamiento (ver figura 16).

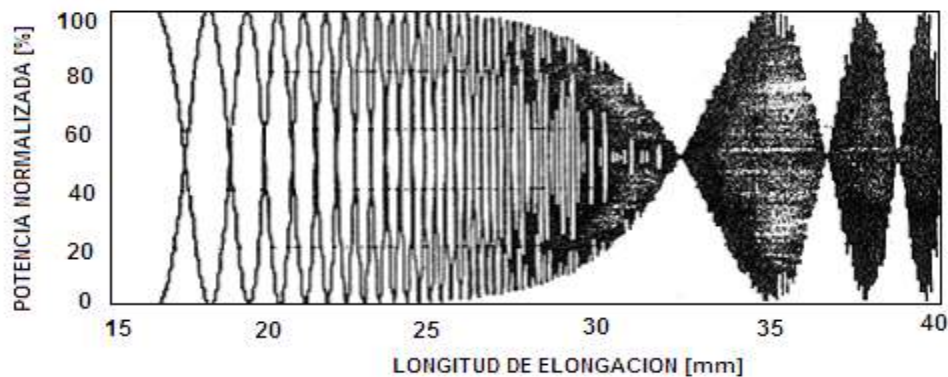


Figura 16. Grafica de un acoplador sobre acoplado. Dentro de cada lóbulo (envolvente de las curvas) se presentan varios ciclos de transferencia de potencia entre las fibras ópticas [2].

Los acopladores fabricados y utilizados para este análisis experimental tienen uno, dos y tres lóbulos, y sus características de transferencia de potencia y transmisión espectral se muestran en las figuras 17 a 19. El espectro de transmisión de cada uno de los acopladores se obtuvo con un LED y el analizador de espectros ópticos. En las figuras se logra observar la influencia de la longitud de jalado en la transmisión del acoplador: para un acoplador de un lóbulo (figuras 17 (a) y 17 (b)), podemos ver que el acoplamiento entre fibras ocurre a lo largo de todo el espectro de transmisión del dispositivo y de hecho es difícil distinguir las dos curvas de transmisión para cada una de las fibras de salida. A medida que aumenta el número de lóbulos, el acoplador comienza a presentar bandas de transmisión dentro del rango espectral analizado.

Nótese que las bandas de transmisión se hacen más angostas cuando la longitud de elongación es más grande (figuras 18 (a), 18 (b), 19 (a) y 19 (b)).

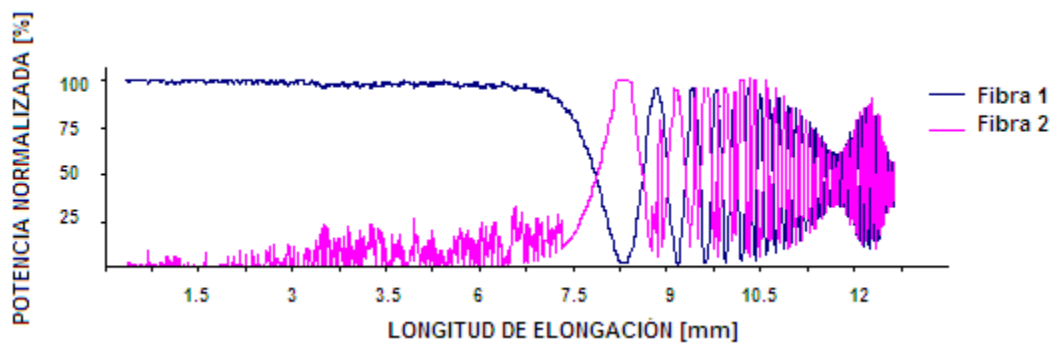


Figura 17 (a) Grafica de un acoplador sobre acoplado de 3 dB de un lóbulo.

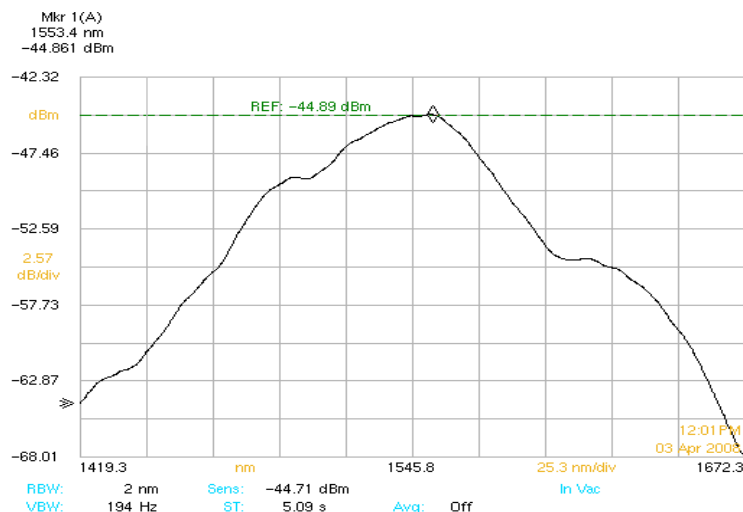


Figura 17 (b) Curva de transferencia de potencia y transmisión espectral para un acoplador de un lóbulo.

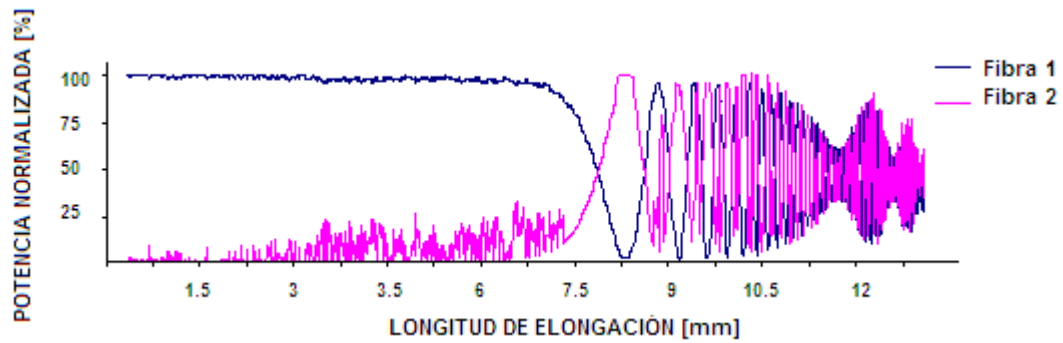


Figura 18(a) Grafica de un acoplador sobre acoplado de 3 dB de dos lóbulos.

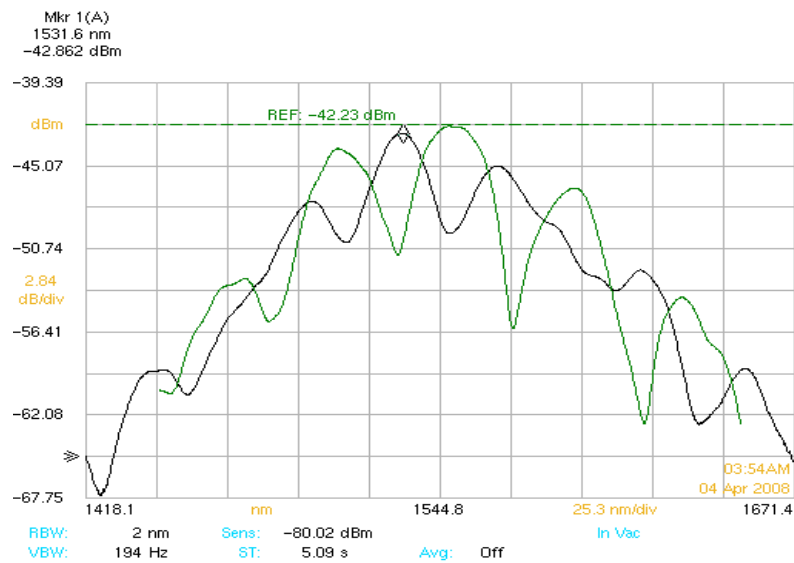


Figura 18 (b) Curva de transferencia de potencia y transmisión espectral para un acoplador de dos lóbulos.

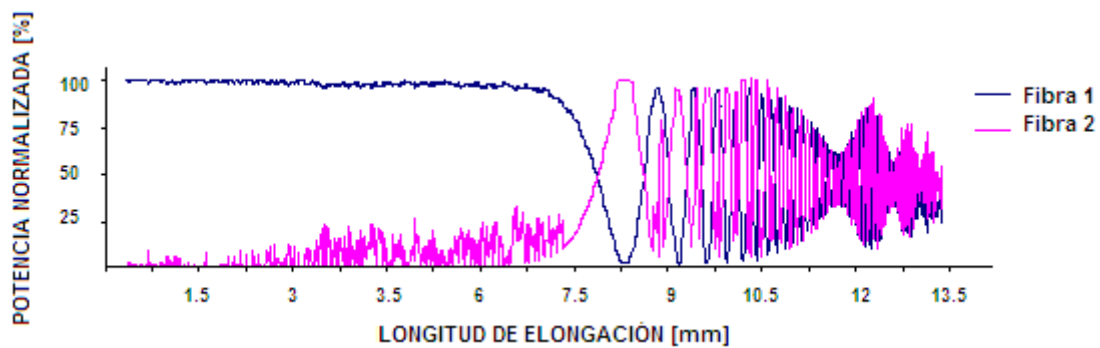


Figura 19 (a) Grafica de un acoplador sobre acoplado de 3 dB de tres lóbulos.

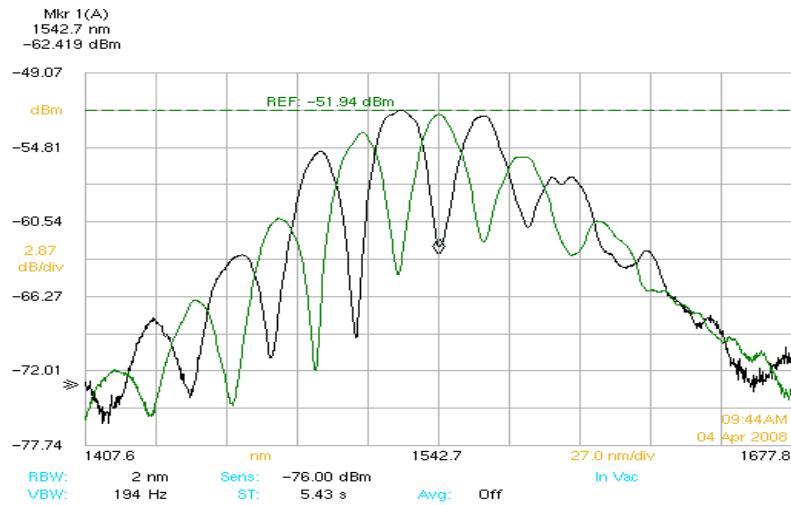


Figura 19 (b) Curva de transferencia de potencia y transmisión espectral para un acoplador de tres lóbulos.

Los resultados obtenidos muestran la tendencia esperada para este tipo de acopladores e indican que el proceso de fabricación es aceptable. Para cada tipo de acoplador (uno, dos y tres lóbulos) se fabricaron más de dos dispositivos y en todos los casos las características espectrales y de transferencia de potencia fueron muy similares.

Esto indica que el ajuste y selección de parámetros para la fabricación de los acopladores son adecuados para fabricar este tipo de dispositivos de manera repetible.