



CCADET

CENTRO DE CIENCIAS APLICADAS Y DESARROLLO TECNOLÓGICO
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Informe Técnico

Caracterización de láseres de semiconductor para aplicaciones dentales

Carlos Jesús Román Moreno

3 de agosto de 2016

Servicio

Financiamiento (Ing. César Martínez Matías)

Título: Caracterización de láseres de semiconductor para aplicaciones dentales

Autores: Carlos Jesús Román Moreno

*Afiliación Centro de Ciencias Aplicadas y Desarrollo Tecnológico,
Universidad Nacional Autónoma de México*

Resumen

En este informe se reporta la calibración de la potencia emitida por dos láseres semiconductores para aplicaciones en odontología. Los láseres operan en modo pulsado. Nominalmente, las longitudes de onda son 685 nm y 980 nm. Ambos láseres pueden emitir en dos modos, que en este informe serán llamados modo 1 y modo 2. En el modo 1, el operador determina el ciclo de trabajo fijando la tasa de repetición y el ancho temporal del pulso. La tasa de repetición toma valores desde 1 kHz hasta 10 kHz en pasos de 1 kHz. Los valores del ancho temporal disponibles son 20 us, 50 us y 80 us (microsegundos). La calibración consiste en determinar la potencia láser en función de la tasa de repetición y del ciclo de trabajo, así como su espectro de emisión. Se presentan los valores medidos de potencia mínima, máxima y promedio y la desviación estándar. También se presentan los espectros de emisión de ambos láseres.

Índice

Nomenclatura

Introducción

1 Sistema Láser Semiconductor Caracterizado.....	4
1.1 Procedimiento e Instrumentación.....	4
2 Resultados.....	6
2.1 Láser de semiconductor de 685 nm.....	6
2.1.1 Operación en el Modo 1 del láser se semiconductor de 685 nm.....	6
2.1.2 Operación en el Modo 2 del láser se semiconductor de 685 nm.....	8
2.1.3 Espectro del láser se semiconductor de 685 nm.....	9
2.2 Láser de semiconductor de 980 nm.....	10
2.2.1 Operación en el Modo 1 del láser se semiconductor de 980 nm.....	10
2.2.2 Operación en el Modo 2 del láser se semiconductor de 980 nm.....	12
2.2.3 Espectro del láser se semiconductor de 685 nm.....	13
Conclusiones.....	13
Referencias Bibliográficas.....	14

Introducción

Los métodos más extendidos en la preparación de piezas dentales para su curación se llevan a cabo con fresas y taladros neumáticos, sin embargo estos producen un ruido molesto para el paciente y vibraciones que afectan la estructura del diente (Graeber, 2014). Por estas y otras razones, el láser es una buena alternativa en los procedimientos odontológicos. Desde su aparición, hace más de 25 años, el láser ha tenido un impacto importante en la práctica odontológica, especialmente en prostodoncia y en procedimientos restaurativos y estéticos. Desde entonces, las aplicaciones clínicas siguen aumentando, por ejemplo en cirugía gingival y mucosa, cirugía ósea y fotobiomodulación. El efecto del láser en los tejidos depende de la longitud de onda, debido a los cromóforos presentes en el tejido, es decir, el compuesto que absorbe la radiación láser. Algunos láseres interactúan principalmente con los tejidos blandos, otros son absorbidos por el agua o por los tejidos duros, como el esmalte, la dentina, los huesos o los cálculos. Los láseres de diodo pueden penetrar varios milímetros en tejido blando. Si bien el láser presenta muchas ventajas en la práctica odontológica, es necesario tomar algunas precauciones, principalmente debe evitarse el calentamiento excesivo e innecesario del tejido tratado y de los tejidos circundantes. El procedimiento debe comenzar con la energía mínima capaz de alcanzar el tratamiento e ir ajustando la potencia observando cuidadosamente su interacción con el tejido. En este informe, se determina la potencia de dos láseres de diodo que emiten en forma pulsada y su relación con el ancho temporal del pulsos, así mismo, se presenta el espectro de emisión de cada uno de ellos (Coluzzi, 2008).

1 Sistema Láser Semiconductor Caracterizado

El sistema calibrado, construido por el Ing. César Martínez Matías, consiste de dos láseres cuyo medio activo es un semiconductor, uno de los cuales emite en 685 nm y otro en 980 nm, en régimen pulsado y su controlador que incluye la fuente de corriente con que se bombea al láser. El sistema puede operar en los modos: modos 1 o 2. En el modo 1, el operador determina el ciclo de trabajo fijando la tasa de repetición F y el ancho temporal el pulso τ_p (Fig. 1). La potencia es función del ciclo de trabajo, de hecho se espera que dependa linealmente de la tasa de repetición para cada valor del ancho del pulso. En el modo 2, el operador determina la potencia que debe entregar el láser.

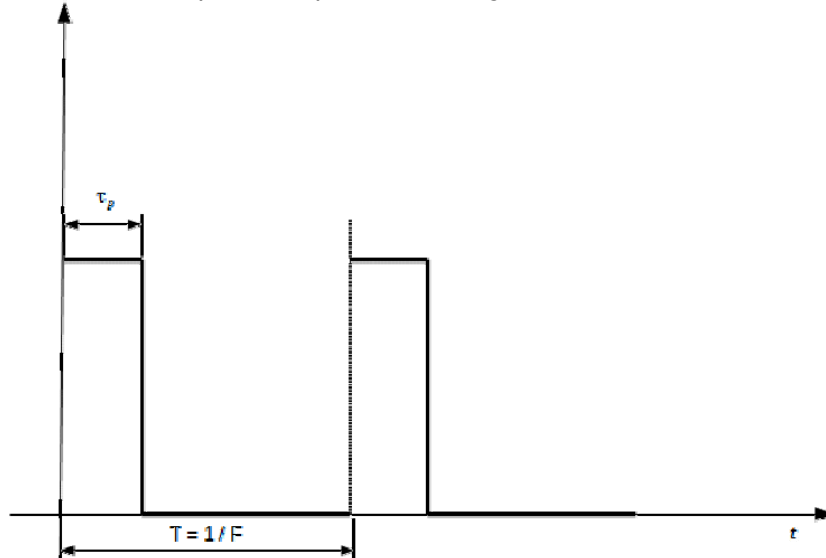


Figura 1. Ciclo de trabajo con el que opera el láser de semiconductor pulsado bombeado con corriente.

1.1 Procedimiento e Instrumentación

Las mediciones de la potencia se realizaron con la consola marca Coherent, modelo LabMax-TO con un detector marca Coherent, modelo LM-2 con las características que se enumeran a continuación:

- Respuesta espectral : de 0.4 μm a 1 064 μm
- Intervalo de potencia: de 10 nW a 5 mW
- Resolución de potencia: 1 nW
- Potencia detectable mínima: 10 nW
- Diámetro de apertura: 7.9 mm
- Tipo de sensor: Celda de silicio

Miniespectrómetro marca BWTEK, modelo BRC-111 A – USB - NIR cuyas características se enumeran a continuación:

- Intervalo: 750 nm a 1050 nm
- Ancho de la rendija: 25 μ m
- Resolución: 0.774 @ 852.14 nm
- Red de difracción: 1 200 líneas/mm @ 750 nm
- Software: BWSPEC versión 3.09g

Miniespectrómetro marca BWTEK, modelo BRC-112 E – USB – UV/VIS cuyas características se enumeran a continuación:

- Intervalo: 240 nm a 750 nm
- Software: BWSPEC versión 3.25

Dado que el haz de los láseres de semiconductor presenta un ángulo de divergencia considerable, el detector se colocó justo a la salida del láser con el propósito de que la superficie sensible del detector capturara toda la radiación láser evitando la necesidad de usar un sistema óptico que la concentrara (Fig. 2) que pueda alterar la radiación recibida por el detector debido a efectos tales como refracción, absorción y reflexión.

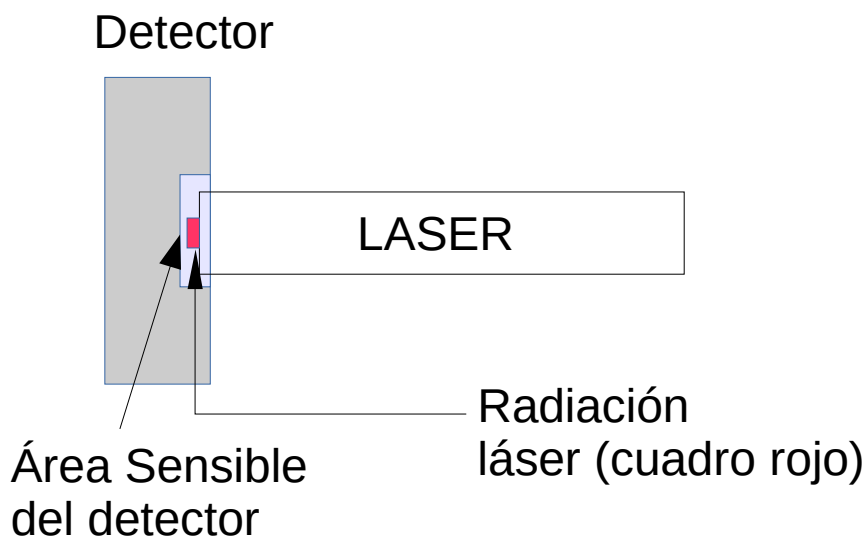


Figura.2. Arreglo para medir la potencia del láser de semiconductor.

2 Resultados

A continuación se presentan los resultados de las medidas realizadas para los láseres de semiconductor operando en ambos modos, así como la linealidad de la potencia láser emitida en función de la tasa de repetición en el modo 1 (Gráficas 1 y 2) y las diferencias máxima y mínima entre la potencia deseada y la obtenida.

2.1 Láser de semiconductor de 685 nm

2.1.1 Operación en el Modo 1 del láser de 685 nm

Como ya se ha mencionado, en el modo 1 el operador determina la tasa de repetición F y el ancho temporal del pulso τ_p , para obtener la potencia deseada. En la Tabla 1 se presentan los resultados obtenidos para láser con longitud de onda de 685 nm y pulsos con ancho temporal de 20 us:

Longitud de onda (nm)= 685

Ancho temporal del pulso (us) = 20

Frecuencia de repetición (Hz)	Ciclo de trabajo (s)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)
		Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio	
1000	1.00E-03	0.68	0.68	0.71	0.69	2.60
2000	5.00E-04	1.37	1.37	1.37	1.37	0.17
3000	3.33E-04	2.06	2.06	2.08	2.06	2.70
4000	2.50E-04	2.76	2.75	2.76	2.76	1.56
5000	2.00E-04	3.4	3.42	3.43	3.42	2.69
6000	1.67E-04	4.2	4.16	4.17	4.17	1.18
7000	1.43E-04	4.9	4.87	4.89	4.88	4.90
8000	1.25E-04	5.5	5.50	5.52	5.51	5.50
9000	1.11E-04	6.3	6.31	6.34	6.32	6.30
10000	1.00E-04	6.8	6.82	6.86	6.83	6.8

Tabla 1. Medidas de potencia del láser semiconductor operando en modo 1 a 685 nm, con pulsos de 20 us a diferentes tasas de repetición.

Longitud de onda (nm)= 685

Ancho temporal del pulso (us) = 50

Frecuencia de repetición (Hz)	Ciclo de trabajo (s)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)
		Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio	
1000	1.00E-03	1.7	1.69	1.7	1.7	0.265
2000	5.00E-04	3.4	3.39	3.41	3.39	2.23
3000	3.33E-04	5.1	5.10	5.11	5.1	2.26
4000	2.50E-04	6.8	6.82	6.85	6.83	6.16
5000	2.00E-04	8.5	8.44	8.46	8.45	5.42
6000	1.67E-04	10.3	10.3	10.3	10.3	9.48
7000	1.43E-04	12.1	12.0	12.1	12.0	11.3
8000	1.25E-04	13.6	13.6	13.6	13.6	8.78
9000	1.11E-04	15.6	15.6	15.6	15.6	9.80
10000	1.00E-04	16.8	16.8	16.8	16.8	15.5

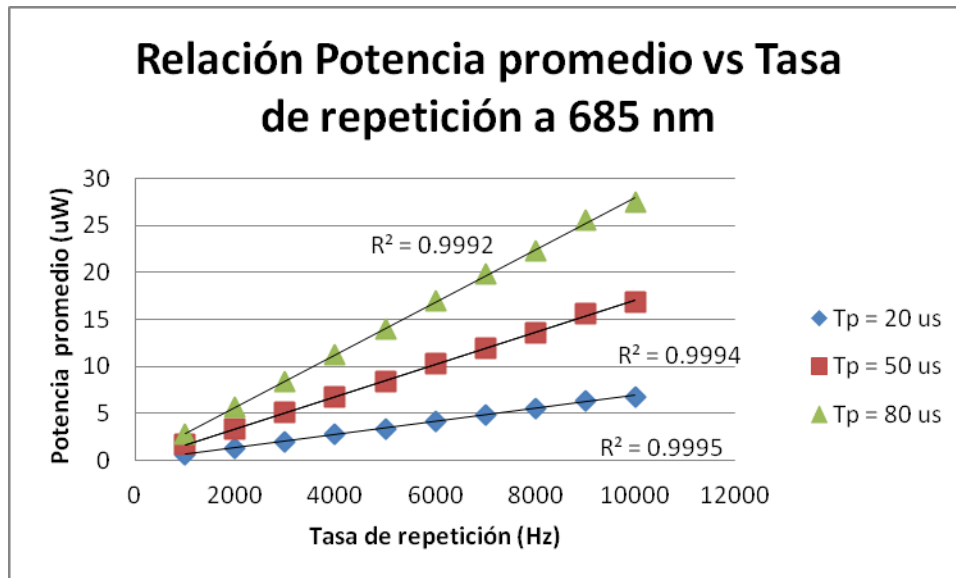
Tabla 2. Medidas de potencia del láser semiconductor operando en modo 1 a 685 nm, con pulsos de 50 us a diferentes tasas de repetición.

Longitud de onda (nm)= 685

Ancho temporal del pulso (us) = 80

Frecuencia de repetición (Hz)	Ciclo de trabajo (s)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)
		Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio	
1000	1.00E-03	2.8	2.8	2.83	2.80	3.30
2000	5.00E-04	5.6	5.61	5.64	5.62	4.60
3000	3.33E-04	8.4	8.43	8.45	8.44	7.00
4000	2.50E-04	11.3	11.3	11.3	11.3	10.80
5000	2.00E-04	14.0	14	14.0	14.0	9.60
6000	1.67E-04	17.1	17	17.1	17.0	15.90
7000	1.43E-04	19.9	19.9	20.0	19.9	36.00
8000	1.25E-04	22.3	22.3	22.3	22.3	13.90
9000	1.11E-04	25.6	25.5	27.7	25.6	59.00
10000	1.00E-04	27.6	27.4	27.6	27.5	71.9

Tabla 3. Medidas de potencia del láser semiconductor operando en modo 1 a 685 nm, con pulsos de 80 us a diferentes tasas de repetición.



Gráfica 1. Dependencia lineal de la potencia promedio con respecto a la tasa de repetición del diodo láser de longitud de onda de 685 nm a tres anchos temporales del pulso. Se muestran los el cuadrado del coeficiente correlación lineal.

2.1.2 Operación en el Modo 2 del láser de 685 nm

En el modo 2, el usuario determina la potencia que desea obtener. La Tabla 4 muestra la potencia real obtenida para cada valor potencia (nominal) dado por el usuario. Para cada valor de la potencia nominal determinado, el láser se operó en intervalos de 10 s con una frecuencia de repetición de 6 500 Hz. La diferencia relativa máxima entre el valor deseado y el medido de la potencia promedio fue de 11.3 % con respecto al valor deseado correspondiente de 10 uW, mientras que la diferencia relativa mínima fue 3.0% con respecto al valor deseado de 5 uW.

Longitud de onda (nm)= 685

Frecuencia de repetición (Hz) = 6 500

Potencia nominal (mW)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)	Ancho del pulso (us)
	Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio		
5	4.5	4.45	4.46	4.45	6.06	16
10	8.9	8.86	8.89	8.87	6.00	32
15	14.0	14.0	14.0	14.0	9.60	47
20	18.4	18.3	18.4	18.4	15.20	62
25	22.7	22.6	22.7	22.7	22.00	78
30	29.9	26.7	26.9	26.9	43.80	93

Tabla 4. Potencia emitida por el láser semiconductor de 685 nm operando en el modo 2, en el cual, el operador determina la potencia que desea obtener.

2.1.3 Espectro del láser de 685 nm

Para completar la caracterización del láser de semiconductor se obtuvo su espectro con un miniespectrómetro BWTEK, BRC 112E para verificar la longitud de onda de emisión del láser (Fig. 3). El espectro tomado con muestra una longitud de onda promedio de 686.62 nm, un ancho de línea de 1.08 nm lo que da una estabilidad del 0.16 %, como se muestra en la Fig. 4.

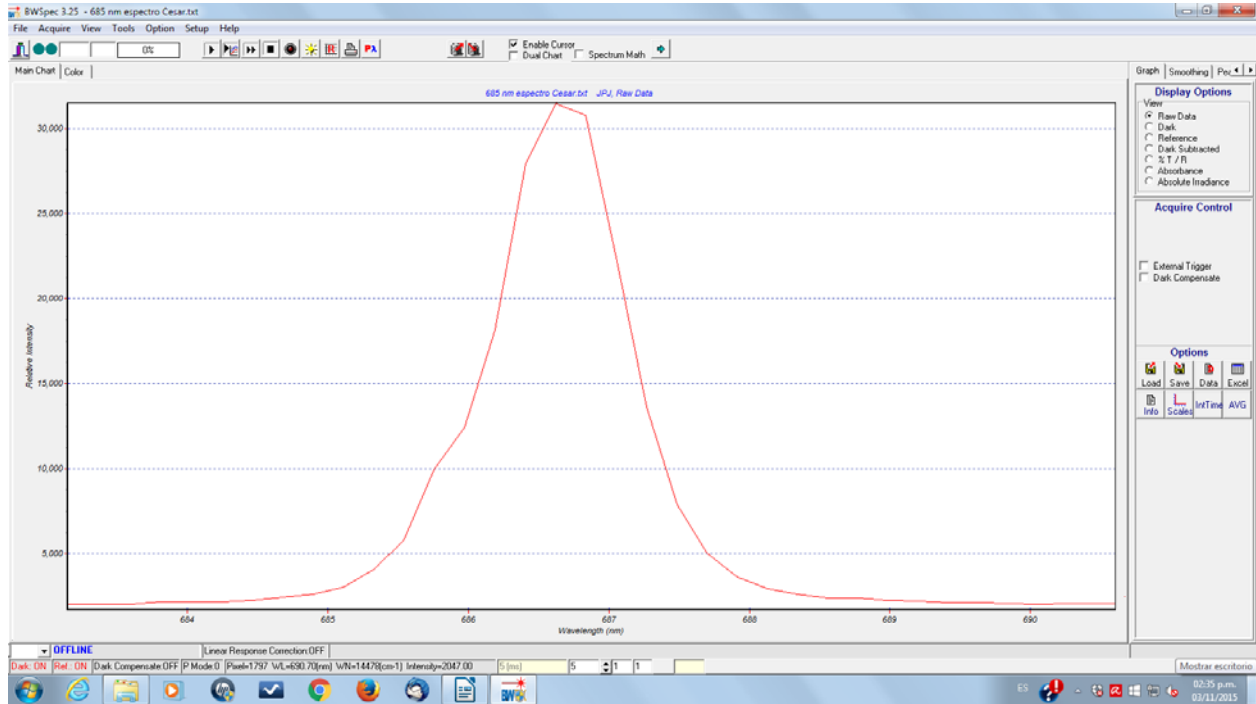


Figura 3. Espectro del láser de semiconductor con longitud de onda nominal de 685 nm. La longitud de onda promedio es 686.62 nm, ancho de línea 1.08 nm lo que da una estabilidad de 0.16 %.

2.2 Láser de semiconductor de 980 nm

2.2.1 Operación en el Modo 1 del láser de 980 nm

Longitud de onda (nm)= 980

Ancho temporal del pulso (us) = 20

Frecuencia de repetición (Hz)	Ciclo de trabajo (s)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)
		Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio	
1000	1.00E-03	0.92	0.921	0.944	0.92	2.40
2000	5.00E-04	1.84	1.84	1.85	1.84	1.40
3000	3.33E-04	2.77	2.76	2.77	2.77	2.14
4000	2.50E-04	3.7	3.70	3.72	3.70	4.42
5000	2.00E-04	4.6	4.56	4.57	4.56	1.63
6000	1.67E-04	5.6	5.56	5.57	5.56	4.61
7000	1.43E-04	6.5	6.50	6.53	6.50	7.73
8000	1.25E-04	7.3	7.33	7.35	7.33	8.82
9000	1.11E-04	8.4	8.40	8.42	8.40	8.33
10000	1.00E-04	9.1	9.07	9.09	9.07	11.9

Tabla 5. Medidas de potencia del láser semiconductor operando en modo 1 a 980 nm, con pulsos de 20 us a diferentes tasas de repetición.

Longitud de onda (nm)= 980

Ancho temporal del pulso (us) = 50

Frecuencia de repetición (Hz)	Ciclo de trabajo (s)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)
		Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio	
1000	1.00E-03	2.12	2.12	2.12	2.12	4.73
2000	5.00E-04	4.2	4.24	4.26	4.24	4.83
3000	3.33E-04	6.4	6.36	6.39	6.36	9.29
4000	2.50E-04	8.5	8.48	8.52	8.49	13.70
5000	2.00E-04	10.5	10.5	10.5	10.5	15.80
6000	1.67E-04	12.8	12.7	12.8	12.7	23.70
7000	1.43E-04	14.9	14.8	14.9	14.8	35.60
8000	1.25E-04	16.7	16.7	16.7	16.7	32.50
9000	1.11E-04	19.7	19.1	19.1	19.1	46.80
10000	1.00E-04	20.5	20.4	20.6	20.5	63.7

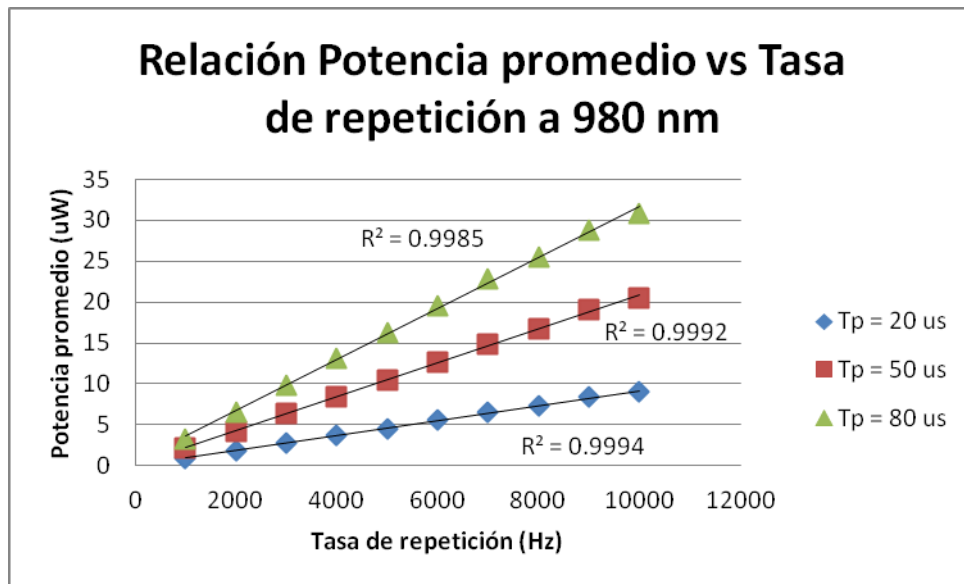
Tabla 6. Medidas de potencia del láser semiconductor operando en modo 1 a 980 nm, con pulsos de 50 us a diferentes tasas de repetición.

Longitud de onda (nm)= 980

Ancho temporal del pulso (us) = 80

Frecuencia de repetición (Hz)	Ciclo de trabajo (s)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (uW)
		Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio	
1000	1.00E-03	3.3	3.27	3.28	3.28	2.21
2000	5.00E-04	6.6	6.57	6.6	6.58	5.93
3000	3.33E-04	9.9	8.87	9.9	9.86	5.10
4000	2.50E-04	13.2	13.1	13.2	13.1	25.7
5000	2.00E-04	16.2	16.2	16.2	16.2	20.8
6000	1.67E-04	19.7	19.6	19.7	19.6	57.1
7000	1.43E-04	22.8	22.8	22.9	22.8	49.4
8000	1.25E-04	25.5	25.4	25.7	25.5	145
9000	1.11E-04	19.0	28.8	29.0	28.8	112
10000	1.00E-04	31.0	30.9	31.1	30.9	143

Tabla 7. Medidas de potencia del láser semiconductor operando en modo 1 a 980 nm, con pulsos de 80 us a diferentes tasas de repetición.



Gráfica 2. Dependencia lineal de la potencia promedio con respecto a la tasa de repetición del diodo láser de longitud de onda de 9800 nm para tres valores de ancho temporal del pulso. Se muestran los el cuadrado del coeficiente correlación lineal.

2.2.2 Operación en el Modo 2 del láser de 980 nm

Recuérdese que en este modo el operador fija la potencia que desea obtener en la emisión láser. La diferencia relativa máxima entre el valor deseado y el medido de la potencia promedio fue de 19.2 % con respecto al valor deseado correspondiente de 25 μ W, mientras que la diferencia relativa mínima fue 2.4% con respecto al valor deseado de 5 μ W.

Longitud de onda (nm)= 980

Frecuencia de repetición (Hz) = 6500

Potencia nominal (mW)	Potencia (mW)				Desv. Estd. (μ W)	Ancho del pulso (us)
	Instantánea	Mínima	Máxima	Promedio		
5	4.9	4.86	4.89	4.88	14.9	20
10	8.8	8.84	8.86	8.84	10.8	40
15	12.6	12.6	12.7	12.6	23.8	58
20	16.4	16.4	16.5	16.5	16.4	78
25	20.1	20.0	20.2	20.1	84.9	98
30	24.7	24.3	24.8	24.5	166	116

Tabla 8. Potencia emitida por el láser semiconductor de 980 nm operando en el modo 2, en el cual, el operador determina la potencia que desea obtener.

2.2.3 Espectro del láser de 980 nm

Para tomar el espectro de este láser se usó un miniespectrómetro BWTEK modelo BRC-111^a-USB-NIR. El espectro tomado con muestra una longitud de onda promedio de 984.01 nm, un ancho de línea de 5.085 nm lo que da una estabilidad del 0.5 %, como se muestra en la Fig. 4.

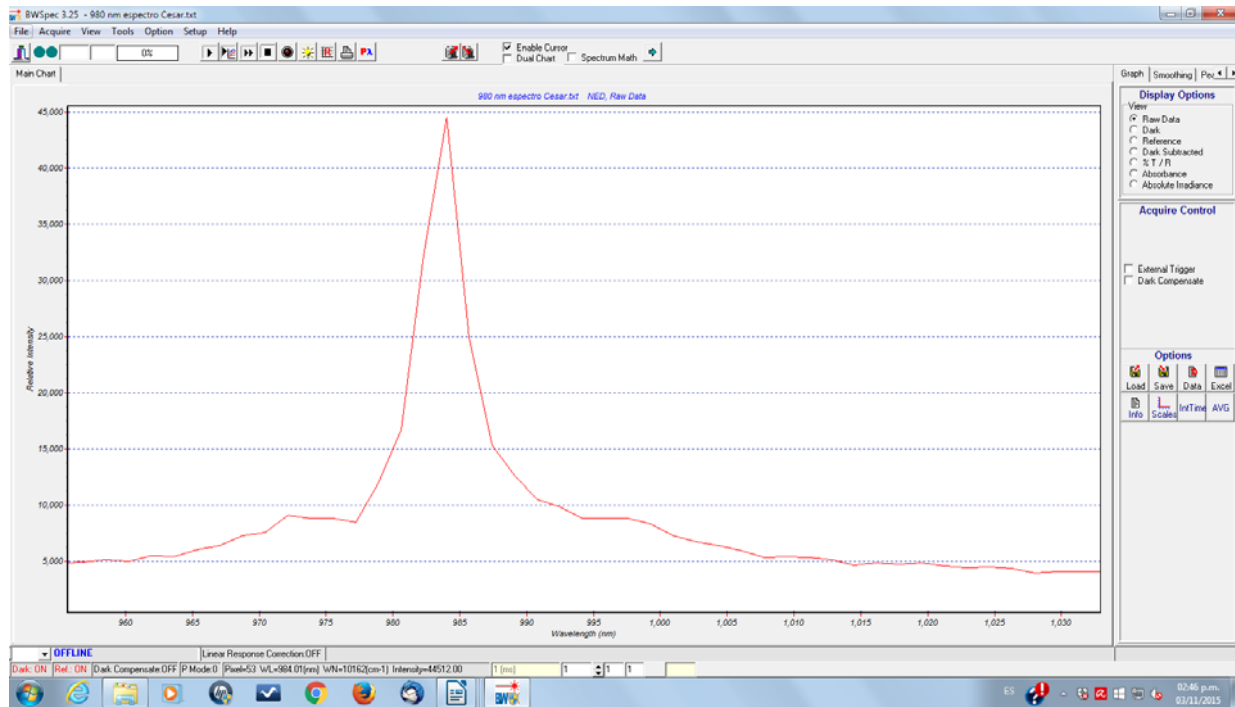


Figura 4. Espectro del láser de semiconductor con longitud de onda nominal de 980 nm. La longitud de onda promedio es 984.01 nm, ancho de línea 5.085 nm lo que da una estabilidad de 0.5 %.

Conclusiones

Los resultados obtenidos se encuentran cercanos a los esperados por el fabricante de este sistema. En el modo de operación 1, la potencia emitida depende linealmente de la tasa de repetición, como se esperaba (Gráficas 1 y 2). En el modo 2, la diferencia relativa entre la potencia esperada y la obtenida resultó a lo más de 11.3 % en el caso del diodo láser de longitud de onda de 650 nm y de 19.2 % en el caso del diodo láser de 980 nm. En ambos casos, la longitud de onda central medida es ligeramente distinta al valor nominal, esto se debe a que la longitud de onda nominal de los diodos láser es un valor típico que varía según el lote de producción (Thorlabs).

Referencias Bibliográficas

Coluzzi, Donald J. (2008) Láser para cirugía de tejidos blandos, *Odontología Actual*, año 5(60), p. 18-24

Graeber, J. J. (2014) Diode laser: A primer,

(https://www.ineedce.com/courses/2564/PDF/1401ceiGraeber_rev3.pdf)

Coherent, LabMax-TO User manual

BWTEK, BRC111A User Manual

BWTEK, BRC112E User Manual

Thorlabs, Overview, Notes on center wavelength,

(https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=7)