

**BANCO EXPERIMENTAL AUTOMATIZADO PARA LA MEDICIÓN
DE INTENSIDAD RELATIVA DE RUIDO EN LÁSERES DE
SEMICONDUCTOR**

JUAN CAMILO CASALLAS FARÍAS
JOSÉ DANIEL HEREDIA LAMPREA

REALIZADO CON LA ASESORÍA DE:
CAMILO CANO VÁSQUEZ

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
OCTUBRE, 2020

UNIVERSIDAD EL BOSQUE
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

ÁREA DE ÉNFASIS: TELECOMUNICACIONES

**BANCO EXPERIMENTAL AUTOMATIZADO PARA LA MEDICIÓN
DE INTENSIDAD RELATIVA DE RUIDO EN LÁSERES DE
SEMICONDUCTOR**

JUAN CAMILO CASALLAS FARIÁS
JOSÉ DANIEL HEREDIA LAMPREA

REALIZADO CON LA DIRECCIÓN DE:
CAMILO CANO VÁSQUEZ

NOTA DE SALVEDAD

Según el artículo 37 del 14 de diciembre de 1989 del acuerdo 017, "La Universidad El Bosque, no se hace responsable de los conceptos emitidos por los investigadores en su trabajo, solo velará por el rigor científico, metodológico y ético de este en aras de la búsqueda de la verdad y la justicia".

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a nuestra institución, la Universidad El Bosque y al programa de Ingeniería Electrónica por brindarnos su alta calidad de conocimiento, herramientas teóricas y prácticas que nos han permitido a lo largo de este proceso de formación convertirnos en personas capaces de enfrentar y superar las dificultades que se nos presenten en nuestra etapa personal y profesional.

Agradecemos al Ingeniero Camilo Cano y a la Universidad Nacional por su gran apoyo y respaldo incondicional, por orientarnos y brindarnos su conocimiento el cual fue soporte para enfocar nuestros objetivos hacia la realización de nuestro trabajo de grado. Agradecemos también a los ingenieros Andrés Triana y Héctor Guarnizo por ofrecernos y darnos su conocimiento y pensamiento crítico encaminado al compromiso y esfuerzo progresivo de poder dimensionar factores trascendentales para el entendimiento de nuestro proyecto.

Por último queremos agradecer a nuestros padres Luis, Patricia, José y María quienes son nuestra mayor motivación e inspiración para cumplir nuestros propósitos y proyectos, por ser nuestro soporte en momentos difíciles y quienes nos motivan a seguir adelante sin importar las adversidades.

RESUMEN

Los osciladores son sistemas útiles en todos los procesos de telecomunicaciones, los cuales crean una señal de referencia con el fin de sincronizar el emisor con el receptor. En los osciladores opto-electrónicos se utiliza la tecnología óptica ya que a frecuencias ópticas surge una capacidad de transferencia de bits de información a alta velocidad. Los láseres de semiconductor se modulan a frecuencias de microondas (de 300 MHz a 30GHz) para enviar una señal óptica a través de un modulador opto-electrónico. Todas las señales que viajan por un medio están expuestas a diferentes tipos de ruidos los cuales degradan su pureza. Para identificar este ruido el primer paso es tener una forma de medida para proceder a eliminarlo. En este proyecto se realizará una herramienta automática que permita determinar la curva de intensidad relativa de ruido (RIN) en un láser de semiconductor. Para llevar a cabo este proyecto se realizará un banco de pruebas para la medida de los láseres de semiconductor como láser DFB utilizando un algoritmo que permita al usuario configurar los diferentes instrumentos de medida (multímetro, analizador de espectro) que permitan obtener las variables de interés (corriente foto detectada y potencia en el espectro) para transmitirla a un computador de manera automática con el fin de procesar la información recogida y mediante un algoritmo matemático arroje el resultado de la intensidad relativa de ruido y se pueda efectuar un sistema de visualización de la curva del RIN.

Palabras Clave: ancho de banda, potencia espectral, fibra óptica

ABSTRACT

Oscillators are useful systems in all telecommunications processes, which create a reference signal in order to synchronize the transmitter with the receiver. On opto-electronic oscillators, use optical technology since optical frequencies increase the capacity for high-speed information bit transfer. The latest semiconductor sensors are modulated at microwave frequencies (300 MHz to 30 GHz) to send an optical signal through an opto-electronic modulator. All the signals that travel through a medium are exposed to different types of noise which degrade their purity. To identify this noise, the first step is to have a form of measurement to eliminate it. In this project an automatic tool will be executed that will allow to determine the curve of relative intensity of noise (RIN) in a semiconductor-based laser. To carry out this project, a test bench will be executed for the measurement of semiconductor controlled lasers using an algorithm that allows the user to configure the different measuring instruments (multimeter, spectrum analyzer) to obtain the variables of interest (photo detected current) and power in the spectrum) to transmit a computer automatically in order to process the collected information and by means of a mathematical algorithm yield the result of the relative noise intensity and a visualization system of the RIN curve can be applied.

Keywords: bandwidth, spectral power, optical fiber

Tabla de Contenidos

1	Introducción	1
2	Definición del problema	1
2.1	Contexto	1
2.2	Manifestación.....	3
2.3	Causas	3
2.4	Efectos.....	3
2.5	Aspectos a solucionar	3
2.6	Justificación del proyecto	3
2.7	Propuesta de solución.....	4
3	Objetivos:.....	4
3.1	General	4
3.2	Específicos.....	4
4	Requerimientos.....	4
4.1	Funcionales	4
4.2	De calidad	6
4.3	Restrictivos.....	7
5	Plan de Pruebas	7
5.1	Prueba 1	7
5.2	Prueba 2	11
5.3	Prueba 3	14
6	Metodología.....	20
6.1	Proyecto I.....	20
7	Recursos necesarios	22
7.1	Recursos de tiempo.....	22
7.2	Recursos humanos	22
7.3	Recursos técnicos.....	22
7.4	Recursos materiales	23
7.5	Recursos de financiación.....	23
8	Estado del arte.....	23
8.1	Bases teóricas.....	23
8.2	Tecnología.....	24
9	Diseño Funcional.....	27
9.1	Caja con entradas y salidas	27
9.2	Alternativa de diseño 1	27

9.3	Alternativa de diseño 2	29
9.4	Funciones de cada caja.....	29
9.5	Selección de alternativa	30
10	Diseño detallado	30
10.1	Subsistema A	30
10.2	Subsistema B	33
10.3	Subsistema C	36
10.4	Subsistema D	37
10.5	Esquemático del sistema	49
10.6	Simulación del sistema	49
11	Plan de Pruebas del Sistema	49
11.1	Protocolo de pruebas	49
11.2	Planes de pruebas	50
12	Diseño Interfaz H/M	52
12.1	Interfaz SW.....	52
12.2	Interfaz HW – Entre dispositivos	53
12.3	Interfaz HW – Usuario.....	53
13	Implementación	55
13.1	Subsistema A: Fotodetector.....	55
13.2	Subsistema B: multímetro.....	60
13.3	Subsistema C: Analizador de espectro	63
13.4	Subsistema D: Modulo de Control.....	71
13.5	Implementación del Sistema.....	71
14	Pruebas del sistema.....	76
14.1	Prueba 1: funcionalidad de los sistemas de medición	76
14.2	Prueba 2.....	79
14.3	Prueba 3. Funcionalidad del usuario y del sistema	84
15	Ajustes.....	88
16	Manuales.....	88
17	Resultados.....	89
18	Discusión.....	100
19	Conclusiones.....	102
20	Referencias Documentales	102
21	Anexos	104

Tabla de Figuras

Figura 1. Oscilador opto-electrónico [3]	2
Figura 2. Diseño funcional	21
Figura 3. Diagrama de bloques de medida del RIN [4]	23
Figura 4. Set up de Vaezi-Nejad, Cox y Copper [5]	25
Figura 5. Diagrama de bloques del sistema.	27
Figura 6. Alternativa 1.....	28
Figura 7. Alternativa 2.....	29
Figura 8. Subsistema A.....	30
Figura 9. Subsistema A.....	31
Figura 10. Fotodiodo New Focus 1414	32
Figura 11. Subsistema B.....	33
Figura 12. Medidor de voltaje DC.	34
Figura 13. Esquemático subsistema B [8].....	35
Figura 14. Entradas y salida de subsistema C	36
Figura 15. Esquemático de Analizador de espectro [9]	37
Figura 16. Entradas y salidas subsistema D.....	37
Figura 17. Interfaces de entradas y salidas del Fluke 8808A [10]	40
Figura 18. Cable serial RS232 [11]	43
Figura 19. Estructura del bus GPIB.....	45
Figura 20. Cable LAN conector RJ-45 [12].....	46
Figura 21. Diagrama de flujo subsistema D	47
Figura 22. Esquemático sistema	49
Figura 23. SPYDER.....	52
Figura 24. Barra de interacción SPYDER.....	52
Figura 25. Interfaz SPYDER	53
Figura 26. Interfaz de usuario terminal anaconda	54
Figura 27. Parámetros de medición del RIN interfaz anaconda.....	54
Figura 28. Curva del RIN IHM SPYDER	55
Figura 29. Implementación subsistema A.....	55
Figura 30. Lateral OPM [13].....	56
Figura 31. Diagrama de implementación subsistema A.....	56
Figura 32. Setup New Port 1414	58
Figura 33. Frontal New Port 1414 [14].....	58
Figura 34. Lateral y trasero de New Port 1414 [14]	59
Figura 35. Diagrama de montaje New Port 1414.....	59
Figura 36. Setup Multímetro	61
Figura 37. Frontal de FLUKE 8088A [10]	61
Figura 38. Trasero de FLUKE 8088A [10]	61
Figura 39. Diagrama de montaje Fluke 8088A	62
Figura 40. Setup analizador de espectro	63
Figura 41. Frontal analizador de espectro [15]	64
Figura 42. Trasero analizador de espectro [15].....	64
Figura 43. Diagrama montaje Analizador de espectro.....	65
Figura 44. Panel frontal de analizador de espectro [16].....	68
Figura 45. Panel trasero de analizador de espectro [16]	68
Figura 46. Diagrama de montaje FSW 43.....	68
Figura 47. Diagrama del sistema global	72

Figura 48. Diagrama del sistema detallado.....	73
Figura 49. Montaje del banco de medidas.....	74
Figura 50. Verificación de conexiones fuente y osa	78
Figura 51. Verificación de conexión foto detector y multímetro	78
Figura 52. Verificación de conexiones laser	78
Figura 53. Conexión láser DFB	81
Figura 54. Grafica de corriente vs potencia	83
Figura 55. Prueba 1 caracterización corriente vs potencia.....	83
Figura 56. Prueba 2 caracterización corriente vs potencia.....	84
Figura 57. Prueba 3 caracterización corriente vs potencia.....	84
Figura 58. Banco experimental automatizado para la medición del RIN.....	87
Figura 59. Prueba de funcionalidad del sistema	88
Figura 60. Valores promedio voltaje y desviación estándar con respecto a corriente de alimentación	94
Figura 61. Grafica desviación estándar voltaje respecto a corriente	95
Figura 62. Valores de potencia promedio y desviación estándar respecto a corriente de alimentación	95
Figura 63. Grafica desviación estándar de potencia respecto a corriente.....	96
Figura 64. Valores de responsividad y desviación estándar respecto a corriente de polarización	96
Figura 65. Grafica desviación estándar responsividad respecto a corriente de polarización	97
Figura 66. Valores de desviación estándar de temperatura respecto a tiempo	97
Figura 67. Grafica desviación estándar de temperatura respecto a tiempo	98
Figura 68. Valores de desviación estándar la corriente de alimentación en función del tiempo	98
Figura 69. Grafica de corriente de alimentación en función del tiempo.....	99
Figura 70. Grafica de medición del RIN.....	99
Figura 71. Grafica comparativa de medición del RIN para 3 corrientes de polarización	100

Lista de Tablas

Tabla 1. Tabla de rol de usuario.....	6
Tabla 2. Tabla de pruebas	9
Tabla 3. Tabla requerimientos.....	10
Tabla 4. Tabla de comentarios de los requerimientos.....	11
Tabla 5. Tabla de pruebas	13
Tabla 6. Tabla de comentarios de los requerimientos.....	14
Tabla 7. Tabla de pruebas	19
Tabla 8. Tabla de comentarios de los requerimientos.....	20
Tabla 9. Prueba para el componente	33
Tabla 10. Prueba para el componente	35
Tabla 11. Plan de pruebas subsistema C.....	37
Tabla 12. Especificaciones de componente 1.....	39
Tabla 13. Especificaciones de componente 2.....	39
Tabla 14. Especificaciones de componente 3.....	39
Tabla 15. Interfaz 232 Fluke 8808A.....	41
Tabla 16. Tabla de registro de estado.....	41
Tabla 17. Descripción de bits en registro de estado de evento	42
Tabla 18. Características conector RS-232.....	43
Tabla 19. Señales conector RS-232	43
Tabla 20. Interfaces puerto E5.....	44
Tabla 21. Características conector LAN	46
Tabla 22. Señales conector RJ45.....	46
Tabla 23. Plan de pruebas subsistema D.....	48
Tabla 24. Plan de pruebas 1 del sistema	51
Tabla 25. Plan de pruebas 2 del sistema	51
Tabla 26. Cables de PM100D	56
Tabla 27. Cables de New Port.....	59
Tabla 28. Cables de FLUKE 8088A.....	62
Tabla 29. Cables de analizador de espectro.....	65
Tabla 30. Elementos de conexión analizador de espectro	69
Tabla 31. Componentes del sistema	71
Tabla 32. Inventario de cables.....	72
Tabla 33. Leyenda de Figura 48	73
Tabla 34. Prueba 1	77
Tabla 35. Cumplir requerimientos.....	79
Tabla 36. Comprobación requerimientos prueba 2	81
Tabla 37. Prueba de funcionalidad del usuario y del sistema.....	87
Tabla 38. Resultados requerimientos funcionales.....	92
Tabla 39. Resultado requerimientos calidad	93
Tabla 40. Resultado requerimientos restrictivos.....	94

1 INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se desarrolló en la modalidad de auxiliar de desarrollo de la Facultad de Ingeniería Electrónica en la Universidad El Bosque, el cual se realiza en el marco del proyecto de investigación *Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G a partir de fuentes ópticas* (PCI-2018-10088).

Se busca con este proyecto formular la propuesta de solución al uso de un láser de semiconductor sin caracterización del comportamiento del RIN. El desarrollo de un banco experimental automatizado para la medición de intensidad relativa de ruido en láseres de semiconductor es una solución que se le presenta al grupo de investigación *Electromagnetismo, Salud y Calidad de Vida* para conocer la idoneidad del láser que puede ser utilizado en el oscilador opto-electrónico.

La estabilidad del oscilador opto-electrónico está estrechamente relacionada a las contribuciones de ruido del láser de semiconductor. La inestabilidad del oscilador hace una prioridad definir el comportamiento del RIN para escoger el láser adecuado capaz de asistir al oscilador a generar una señal portadora de alta pureza espectral. Cabe resaltar que se van a realizar pruebas en el banco experimental con un tipo de láser: DFB.

Este proyecto se limita al desarrollo de un banco experimental automatizado para la medición de intensidad relativa de ruido en láseres de semiconductor donde el proceso de automatización se hará en la obtención de valores de medición (voltaje DC y potencia espectral) y procesamiento de estos para obtener las curvas del RIN y poder contribuir con el proyecto de investigación de *Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G a partir de fuentes ópticas*.

El desarrollo del banco experimental automatizado se llevo a cabo en medio de una pandemia global que limitó el tiempo de acceso a los equipos utilizados y por consiguiente provoco un retraso en el cronograma planteado en un principio. El retraso en el cronograma ocasiono que no se cumplieran requerimientos establecidos antes de la pandemia como: Una interfaz gráfica que permitiera configurar los parámetros de medición y la definición de roles de usuario como "operario" y "administrador", la no ejecución de estos requerimientos no vio afectado el cumplimiento total de los objetivos del proyecto.

Los resultados obtenidos a lo largo del desarrollo del proyecto incluyen las pruebas del sistema, la caracterización del dispositivo de foto detección utilizado, en términos de voltaje DC, potencia óptica y responsividad, que permitieron determinar los parámetros reales del dispositivo y de esta forma poderlo incluir en el montaje del banco experimental automatizado para obtener las curvas de medida del RIN para distintas corrientes de polarización.

2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

2.1 Contexto

El proyecto de investigación *Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G a partir de fuentes ópticas* (PCI-2018-10088), en el que trabajan en conjunto los grupos de investigación de "Electromagnetismo, salud y calidad de vida" perteneciente a la Universidad El Bosque y el grupo de "Investigación de Electrónica de Alta Frecuencia y Telecomunicaciones" de la Universidad Nacional de Colombia, busca caracterizar

el desempeño de un sistema de telecomunicaciones basado en una portadora generada mediante sistemas opto-electrónicos.

En el desarrollo de las tecnologías de telecomunicación 5G debido al crecimiento de tráfico, el número de dispositivos y servicios se estudia la identificación de las nuevas frecuencias del espectro radioeléctrico. En el estudio se encuentran 7 bandas del espectro que van desde los 6 GHz en adelante [1]. Estas frecuencias deben ser producidas por osciladores capaces de generar portadoras en alta frecuencia y pureza espectral para bandas del espectro de telecomunicaciones garantizando la estabilidad del sistema y la eficiencia de la capacidad del canal de comunicación para hacer un buen uso del espectro.

Los osciladores electrónicos generalmente son utilizados para la generación de portadoras. Sin embargo, este tipo de osciladores presentan limitaciones de frecuencias debido a la presencia de efectos no lineales en los sistemas electrónicos, como ruidos electrónicos e interferencias electromagnéticas. Una solución en la generación de portadoras en alta frecuencia y alta pureza es la implementación de osciladores opto-electrónicos que usan componentes electrónicos y ópticos para convertir la energía óptica en energía eléctrica, con una estabilidad frecuencial alta con un ruido de fase de hasta -163dB/Hz a 7kHz de la portadora con una portadora de 10GHz [2].

Uno de los componentes cruciales dentro de un oscilador opto-electrónico es el láser, debido a que es el componente que genera la señal óptica y es el encargado de enviar la señal a través del modulador electro-óptico. El desarrollo de láseres de semiconductor permite construir osciladores compactos y eficientes ya que manejan un bajo consumo de energía, alta velocidad de modulación en bajos niveles de corriente de conducción y son de bajo costo. La aplicación de láseres de semiconductor en los sistemas de transmisión de datos depende de las propiedades dinámicas y ruido de la fuente, que afecta de manera directa la estabilidad del oscilador opto-electrónico, dado que la pureza espectral de la portadora generada se degrada.

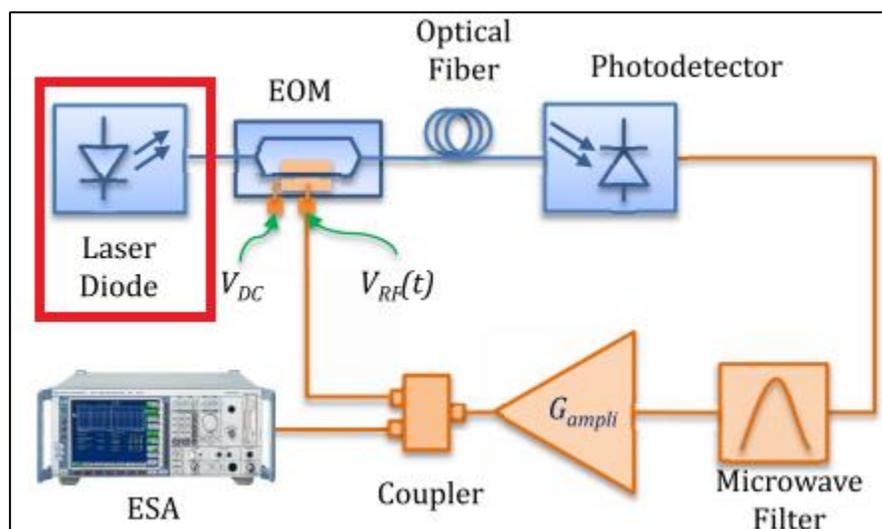


Figura 1. Oscilador opto-electrónico [3]

Con la influencia del RIN en la relación señal a ruido dada por la ecuación 1 [3], demuestra que su valor de ruido tiene un gran impacto en el buen desempeño de un sistema

de comunicaciones, dado que afecta aspectos importantes como la tasa de error binario (BER) y la capacidad del canal de comunicación.

$$SNR = \frac{m^2}{2} \frac{1}{\int_0^B RIN(f)df}$$

Ecuación 1

Las propiedades de la naturaleza propia de los láseres de semiconductor generan inestabilidad del oscilador opto-electrónico. La necesidad de obtener un oscilador con una estabilidad frecuencial alta hace imprescindible desarrollar una herramienta que permita caracterizar el láser utilizado en el oscilador opto-electrónico y así poder examinar los valores de ruido que añade al sistema. Para realizar este proceso y obtener una correcta medición del RIN, es necesario caracterizar el láser y la foto detector, cabe resaltar que no es necesaria la caracterización de los elementos de medida; pues al cambiar de láser, directamente cambian los parámetros y se haría más compleja la práctica. Aunque en el banco de pruebas se tendrán presentes estudios de diferentes sistemas; el énfasis y el estudio principal de este proyecto será el láser y su comportamiento del RIN.

2.2 Manifestación

Inestabilidad de un oscilador opto-electrónico influida por la intensidad relativa de ruido (RIN) en un láser de semiconductor.

2.3 Causas

2.3.1 Uso de un láser de semiconductor sin caracterización del comportamiento del RIN.

2.3.2 Propiedades intrínsecas del láser de semiconductor.

2.4 Efectos

2.4.1 Disminución de la estabilidad de la onda portadora emitida por el oscilador opto-electrónico.

2.4.2 Reducción de la pureza espectral de un oscilador opto-electrónico.

2.5 Aspectos a solucionar

Uso de un láser de semiconductor sin caracterización del comportamiento del RIN.

2.6 Justificación del proyecto

El proyecto *Desarrollo de un banco experimental automatizado para la medición de intensidad relativa de ruido en láseres de semiconductor* se lleva a cabo, debido a la necesidad de implementar una herramienta que a partir del ingreso de datos preestablecidos de la zona de frecuencia de medición de RIN para frecuencias entre 300MHz a 25GHz que obtenga de forma automática el resultado de la medida de RIN visualizado en un computador. El poseer un modelo de configuración, medición y visualización que obtenga de manera clara el RIN, permite caracterizar el comportamiento del RIN en la onda emitida por láser de semiconductor

para que en el proyecto de investigación *Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G a partir de fuentes ópticas*, puedan seleccionar de manera idónea el láser utilizado en el oscilador opto-electrónico.

2.7 Propuesta de solución

Banco experimental para medida de intensidad relativa de ruido para caracterizar láseres de semiconductor.

3 OBJETIVOS:

3.1 General

3.1.1 Desarrollar un banco experimental automatizado para la medición de intensidad relativa de ruido para láseres de semiconductor.

3.2 Específicos

3.2.1 Desarrollar una herramienta automática que permita realizar una configuración de banda de frecuencia de trabajo por parte del usuario.

3.2.2 Implementar un sistema que permita la visualización del RIN en láseres de semiconductor.

3.2.3 Elaborar un manual de usuario para un banco experimental automatizado para la medida de intensidad relativa de ruido en láseres de semiconductor.

3.2.4 Elaborar un plan de pruebas para un banco experimental automatizado para la medida de intensidad relativa de ruido para láseres de semiconductor.

4 REQUERIMIENTOS

4.1 Funcionales

4.1.1 El banco de pruebas debe medir el RIN de un láser de semiconductor únicamente de tipo DFB.

4.1.2 El láser de semiconductor debe ser caracterizado en términos de potencia óptica devuelta por corriente de entrada.

4.1.3 El dispositivo de foto detección debe ser caracterizado en términos de responsividad.

4.1.4 La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.

4.1.5 La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.

- 4.1.6 La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser adquirida de forma automática desde el módulo de control.
- 4.1.7 La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser adquirida de forma automática desde el módulo de control.
- 4.1.8 La medida del RIN debe ser visualizada a través de una interfaz gráfica.
- 4.1.9 La medida del RIN debe ser indicada a través de un gráfico de línea en dB /Hz con respecto a Hertz.
- 4.1.10 El usuario debe ingresar el intervalo de frecuencias en que se realizará la medida del RIN en Hz.
- 4.1.11 El usuario debe ingresar el valor de la corriente de polarización del láser de semiconductor en que se realizará la medida del RIN en amperios.
- 4.1.12 El usuario debe ingresar el valor de la temperatura del láser de semiconductor en que se realizará la medida del RIN en grados Celsius.
- 4.1.13 El usuario debe capacitarse leyendo el manual de operación para el uso del sistema.
- 4.1.14 La fuente de corriente debe recibir el valor de corriente de polarización del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.
- 4.1.15 La fuente de corriente debe recibir el valor de temperatura del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.
- 4.1.16 La fuente de corriente debe controlar la corriente de polarización suministrada al láser de semiconductor.
- 4.1.17 La fuente de corriente debe controlar la variable de temperatura suministrada al láser de semiconductor.
- 4.1.18 El módulo de control debe tener una interfaz gráfica.
- 4.1.19 El módulo de control debe tener un software de ingeniería.
- 4.1.20 El software de ingeniería debe ejecutar el algoritmo matemático para el cálculo del RIN.
- 4.1.21 El software de ingeniería debe ser compatible con los instrumentos de medida utilizados en el laboratorio.
- 4.1.22 El módulo de control debe tener un algoritmo matemático para la medición del RIN.
- 4.1.23 El módulo de control debe procesar la variable de voltaje DC extraída del fotodetector.

- 4.1.24 El módulo de control de procesar la variable de potencia espectral extraída del fotodetector.
- 4.1.25 El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese la variable de corriente de polarización del láser de semiconductor.
- 4.1.26 El sistema debe generar una alerta cuando los valores ingresados por el usuario (corriente y/o temperatura) superen los rangos de operación segura del láser de semiconductor.
- 4.1.27 El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese la variable de temperatura del láser de semiconductor.
- 4.1.28 El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese el intervalo de frecuencias del láser de semiconductor.
- 4.1.29 El sistema debe contar con un rol de operario.
- 4.1.30 El sistema debe contar con un rol de administrador.
- 4.1.31 Las actividades permitidas por cada rol de usuario se describen a continuación:

Actividades	operario	Administrador
Medida de un láser de semiconductor	Si	Si
Modificación de código de programación	No	Si

Tabla 1. Tabla de rol de usuario

- 4.1.32 El sistema debe tener un sitio con 5GB de almacenamiento para guardar las respectivas mediciones.
- 4.1.33 El sistema debe enviar notificaciones al usuario en caso de ingreso de datos erróneos.
- 4.1.34 El sistema debe tener un manual de operación.
- 4.1.35 Los subsistemas deben comunicarse de forma alámbrica.
- 4.1.36 El manual de operación deber ser sencillo y de fácil entendimiento.
- 4.1.37 El sistema debe contar con un plan de pruebas.

4.2 De calidad

- 4.2.1 El sistema debe tener un algoritmo matemático que calcule el RIN de un láser de semiconductor.
- 4.2.2 Las alertas al usuario deben emitirse antes de la inicialización de la medida del RIN.
- 4.2.3 Los valores de la medida del RIN deben estar comprendidos dentro del rango de frecuencias seleccionado por el usuario.

4.3 *Restrictivos*

- 4.3.1 El sistema necesitara voltaje AC para su funcionamiento.
- 4.3.2 El sistema tiene la capacidad de medir un láser de semiconductor a la vez.
- 4.3.3 El sistema no iniciara la medida del RIN hasta que las alertas generadas no sean solucionadas.
- 4.3.4 Los operadores del sistema no deben intervenir el algoritmo matemático ni el código de programación.
- 4.3.5 El módulo de control debe tener las especificaciones necesarias para alojar el software de ingeniería utilizado.
- 4.3.6 El software de ingeniería utilizado debe ser compatible con los elementos de medida utilizados por el sistema.
- 4.3.7 Todos los elementos del sistema se deben ubicar sobre un mismo espacio de trabajo (laboratorio).
- 4.3.8 La interconexión de los subsistemas será de forma alámbrica.

Uso de equipos propios

- 4.3.9 El sistema debe utilizar el Fotodetector New Focus 1414.
- 4.3.10 El sistema debe utilizar el medidor de voltaje Fluke 8808A.
- 4.3.11 El sistema debe utilizar el analizador de espectro R&S FSW43.

5 PLAN DE PRUEBAS

5.1 *Prueba 1*

Funcionalidad de los sistemas de medición:

- Multímetro
- Analizador de espectro

5.1.1 Objetivo de la prueba

Los instrumentos de medida deberán extraer las variables de voltaje DC y potencia espectral del láser basado de semiconductor y a su vez deberán tener comunicación con el módulo de control.

5.1.2 Requerimientos por comprobar

1. La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.
2. La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.
3. La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser adquirida de forma automática desde el módulo de control.
4. La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser adquirida de forma automática desde el módulo de control.
5. El software de ingeniería debe ser compatible con los instrumentos de medida utilizados en el laboratorio.
6. Los subsistemas deben comunicarse de forma alámbrica.
7. Todos los elementos del sistema se deben ubicar sobre un mismo espacio de trabajo (laboratorio).
8. La interconexión de los subsistemas será de forma alámbrica.
9. El sistema necesitara voltaje AC para su funcionamiento.

5.1.3 Metodología de trabajo

Para verificar el cumplimiento de estos requerimientos se debe tener en cuenta:

1. Se debe comprobar que los instrumentos deben estar en un mismo espacio trabajo.
2. Se debe comprobar que los instrumentos tengan comunicación con el módulo de control.
3. Se debe comprobar que los instrumentos de medida reciban y lean la señal de medida.
4. Se debe comprobar que los instrumentos de medida están conectados a una fuente de energía comercial (ac; 120 V, 60 Hz)
5. Se debe comprobar que las conexiones alámbricas entre los instrumentos de medida y los demás subsistemas están correctamente sujetas y permiten la comunicación entre estos.

6. Se debe comprobar que el software de programación utilizado es compatible con los instrumentos de medida.
7. Se debe tener un código de programación enfocado para las pruebas de comunicación

5.1.4 Tabla de datos

Los requerimientos 6, 7, 8 y 9 se comprobarán con la siguiente tabla:

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Revisión de conexiones alámbricas	Multímetro	Los puntos de conexión (input/output) deben estar fijos y ajustados	1	10 minutos		
	Analizador de espectro	Los puntos de conexión (input/output) deben estar fijos y ajustados	1	10 minutos		
Los equipos estar en el mismo espacio habitacional	Multímetro	Se ubica en el mismo espacio habitacional que el resto de los equipos del sistema	1	5 minutos		
	Analizador de espectro	Se ubica en el mismo espacio habitacional que el resto de los equipos del sistema	1	5 minutos		
El sistema necesitara voltaje AC para su funcionamiento	Multímetro	Led de encendido ON	1	5 minutos		
	Analizador de espectro	Led de encendido ON	1	5 minutos		

Tabla 2. Tabla de pruebas

Los requerimientos 1, 2, 3, 4 y 5 se comprobarán con la siguiente tabla:

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Realizar código de programación que establezca comunicación entre los instrumentos de medida y el módulo de control (Get/Post)	Multímetro	Comunicación establecida	1	15 minutos		
	Analizador de espectro	Comunicación establecida	1	15 minutos		
Capturar variables de medición	Multímetro	Captura de variable float	1	15 minutos		
	Analizador de espectro	Captura de variable float	1	15 minutos		

Tabla 3. Tabla requerimientos

5.1.5 Comentarios

Requerimientos por comprobar	Comentarios
1. La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.	
2. La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.	
3. La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser adquirida de forma automática desde el módulo de control.	
4. La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser adquirida de forma automática desde el módulo de control.	
5. El software de ingeniería debe ser compatible con los instrumentos de medida utilizados en el laboratorio.	
6. Los subsistemas deben comunicarse de forma alámbrica.	
7. Todos los elementos del sistema se deben ubicar sobre un mismo espacio de trabajo (laboratorio).	

8. La interconexión de los subsistemas será de forma alámbrica.	
9. El sistema necesitara voltaje AC para su funcionamiento	

Tabla 4. Tabla de comentarios de los requerimientos

5.2 Prueba 2

Funcionalidad de los componentes del sistema:

- Laser de semiconductor
- Fuente de corriente
- Foto detector
- Módulo de control

5.2.1 Objetivo de la prueba

Los componentes del sistema deben generar la señal de luz láser (laser de semiconductor), capturar esta señal óptica y convertirla en señal eléctrica (fotodetector), adquirir y procesar las variables de medición (módulo de control).

5.2.2 Requerimientos por comprobar

1. El banco de pruebas debe medir el RIN de un láser de semiconductor únicamente de tipo DFB.
2. El láser de semiconductor debe ser caracterizado en términos de potencia óptica devuelta por corriente de entrada.
3. El dispositivo de foto detección debe ser caracterizado en términos de responsividad.
4. La fuente de corriente debe recibir el valor de corriente de polarización del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.
5. La fuente de corriente debe recibir el valor de temperatura del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.
6. La fuente de corriente debe controlar la corriente de polarización suministrada al láser de semiconductor.
7. La fuente de corriente debe controlar la variable de temperatura suministrada al láser de semiconductor.
8. El módulo de control debe tener una interfaz gráfica.
9. El módulo de control debe tener un software de ingeniería.
10. El software de ingeniería debe ejecutar el algoritmo matemático para el cálculo del RIN.
11. El software de ingeniería debe ser compatible con los instrumentos de medida utilizados en el laboratorio.
12. El módulo de control debe tener un algoritmo matemático para la medición del RIN.
13. El módulo de control debe procesar la variable de voltaje DC extraída del fotodetector.
14. El módulo de control de procesar la variable de potencia espectral extraída del fotodetector.
15. Los subsistemas deben comunicarse de forma alámbrica.

5.2.3 Metodología de trabajo

Para verificar el cumplimiento de estos requerimientos se debe tener en cuenta:

1. Se debe comprobar que el láser de semiconductor sea tipo DFB.
2. Se debe tomar los valores de potencia óptica por cada valor de corriente de polarización.
3. Se debe comprobar la responsividad del fotodetector colectando los valores de potencia óptica recibida por amperio emitido.
4. Se debe comprobar que el módulo de control asigne valores de corriente de polarización en la fuente de corriente del láser de semiconductor.
5. Se debe comprobar que el módulo de control asigne valores de temperatura en la fuente del láser de semiconductor.
6. Se debe comprobar que la fuente de corriente del láser de semiconductor controle las variables de corriente de polarización y de temperatura.
7. Se debe comprobar que el módulo de control cuente con una interfaz gráfica.
8. Se debe comprobar que el software de ingeniería sea compatible con el módulo de control
9. Se debe comprobar que el algoritmo matemático calcule correctamente el valor del RIN medido.
10. Se debe comprobar que el módulo de control pueda procesar las variables de medida adquiridas.

5.2.4 Tabla de datos

Los requerimientos del 1 al 15 se comprobarán con la siguiente tabla:

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	Nº de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Verificar tipo de laser de semiconductor según su hoja de datos	Laser de semiconductor	DFB	1	10 minutos		
Gráfico de línea de potencia corriente de polarización	Laser de semiconductor	Gráfico de línea	1	1 hora		
Asignar valor de corriente a la fuente de corriente desde el módulo de control	Fuente de corriente	Valor de corriente en la fuente de corriente igual al valor asignado	1	15 minutos		
Asignar valor de temperatura a la fuente de corriente	Fuente de corriente	Valor de temperatura en la fuente de corriente igual	1	15 minutos		

desde el módulo de control		al valor asignado				
Capturar desde el módulo de control el valor de la corriente de la fuente de corriente	Fuente de corriente	Valor capturado en módulo de control igual al valor indicado en la fuente de corriente	1	15 minutos		
Capturar desde el módulo de control el valor de la temperatura de la fuente de corriente	Fuente de corriente	Valor capturado en módulo de control igual al valor indicado en la fuente de corriente	1	15 minutos		
Verificar el control de corriente de polarización	Fuente de corriente	Debe mantener estable la corriente de polarización asignada durante 15 minutos	1	15 minutos		
Verificar el control de temperatura	Fuente de corriente	Debe mantener estable la temperatura asignada durante 15 minutos	1	15 minutos		
Verificar el valor medido del RIN a través del algoritmo matemático programado	Módulo de control	El valor de RIN calculado por el módulo de control debe ser igual al calculado manualmente	1	2 horas		

Tabla 5. Tabla de pruebas

5.2.5 Comentarios

Requerimientos por comprobar	Comentarios
1 El banco de pruebas debe medir el RIN de un láser de semiconductor únicamente de tipo DFB.	

2	El láser de semiconductor debe ser caracterizado en términos de potencia óptica devuelta por corriente de entrada.	
3	El dispositivo de foto detección debe ser caracterizado en términos de responsividad.	
4	La fuente de corriente debe recibir el valor de corriente de polarización del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.	
5	La fuente de corriente debe recibir el valor de temperatura del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.	
6	La fuente de corriente debe controlar la corriente de polarización suministrada al láser de semiconductor.	
7	La fuente de corriente debe controlar la variable de temperatura suministrada al láser de semiconductor.	
8	El módulo de control debe tener una interfaz gráfica.	
9	El módulo de control debe tener un software de ingeniería.	
10	El software de ingeniería debe ejecutar el algoritmo matemático para el cálculo del RIN.	
11	El software de ingeniería debe ser compatible con los instrumentos de medida utilizados en el laboratorio.	
12	El módulo de control debe tener un algoritmo matemático para la medición del RIN.	
13	El módulo de control debe procesar la variable de voltaje DC extraída del fotodetector.	
14	El módulo de control de procesar la variable de potencia espectral extraída del fotodetector.	
15	Los subsistemas deben comunicarse de forma alámbrica.	

Tabla 6. Tabla de comentarios de los requerimientos

5.3 Prueba 3

Funcionalidad del usuario y del sistema.

5.3.1 Objetivo de la prueba

El sistema debe medir el valor del RIN del láser de semiconductor por cada frecuencia dada y el usuario del sistema debe configurar la totalidad del sistema para obtener una medida confiable.

5.3.2 Requerimientos por comprobar

- 1 temperatura del láser de semiconductor.
- 2 El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese el intervalo de frecuencias del láser de semiconductor.
- 3 El sistema debe contar con un rol de operario.
- 4 El sistema debe contar con un rol de administrador.
- 5 El sistema debe tener un sitio con 5GB de almacenamiento para guardar las respectivas mediciones.
- 6 El sistema debe enviar notificaciones al usuario en caso de ingreso de datos erróneos.
- 7 El sistema debe tener un manual de operación.
- 8 El manual de operación deber ser sencillo y de fácil entendimiento.
- 9 El sistema debe contar con un plan de pruebas.

5.3.3 Metodología de trabajo

Para verificar el cumplimiento de estos requerimientos se debe tener en cuenta:

- 1 Se debe comprobar que el usuario tenga posibilidad de ingresar rangos de frecuencia desde 300 MHz hasta 15 GHz, en la interfaz gráfica del módulo de control.
- 2 Se debe comprobar que el usuario tenga la posibilidad de ingresar la corriente de polarización, en la interfaz gráfica del módulo de control.
- 3 Se debe comprobar que el usuario tenga la posibilidad de ingresar la temperatura en grados Celsius, en la interfaz gráfica del módulo de control.
- 4 Se debe comprobar que el usuario ha leído el manual de usuario
- 5 Se debe comprobar la generación de una alarma, cuando el usuario no ingrese una variable tipo flotante o no se encuentre entre los rangos de operación segura del láser basado de semiconductor, en los espacios designados para corriente de polarización y temperatura.
- 6 Se debe comprobar que el usuario administrador pueda realizar medidas del RIN de un láser basado de semiconductor y pueda realizar cambios al código de programación según su criterio.
- 7 Se debe comprobar que el usuario operador pueda realizar medidas del RIN de un láser basado de semiconductor y no pueda realizar cambios al código de programación.
- 8 Se debe comprobar que el módulo de control cuente con un espacio de almacenamiento libre de 5 GB o mayor.
- 9 Se debe comprobar que el sistema no permita realizar la medida del RIN hasta que todos los datos de configuración se encuentren totalmente diligenciados.
- 10 Se debe comprobar que el manual de operación indique:
 - Configuración del sistema.
 - Privilegios de usuarios.
 - Límites del sistema.
- 11 Se debe comprobar que el usuario ha entendido los puntos indicados anteriormente.

5.3.4 Tabla de datos

Los requerimientos del 1 al 15 se comprobarán con la siguiente tabla:

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Ingresar en el módulo de control rango de frecuencia entre 300 MHz y 15 GHz con valores flotantes	Sistema	Sin generación de alerta	1	15 minutos		
Ingresar en el módulo de control rango de frecuencia mayores y menores de 300 MHz y 15 GHz con valores flotantes	Sistema	Generación de alerta “Rango de frecuencias no esperado. Cambiar”	1	15 minutos		
Ingresar en el módulo de control, valor de corriente de polarización mayor y menor del rango de operación segura del láser de semiconductor utilizado según hoja de datos DFB con valores flotantes	Sistema	Generación de alerta “Valor de corriente de polarización inseguro. Cambiar”	1	15 minutos		
Ingresar en el módulo de control, valor de corriente de polarización dentro del rango de operación segura del láser	Sistema	Sin generación de alerta	1	15 minutos		

de semiconductor utilizado según hoja de datos DFB con valores flotantes						
Ingresar en el módulo de control, valor de temperatura mayor y menor del rango de operación segura del láser de semiconductor utilizado según hoja de datos DFB con valores flotantes	Sistema	Generación de alerta “Valor de temperatura inseguro. Cambiar”	1	15 minutos		
Ingresar en el módulo de control, valor de temperatura dentro del rango de operación segura del láser de semiconductor utilizado según hoja de datos DFB con valores flotantes	Sistema	Sin generación de alerta	1	15 minutos		
El usuario debe ingresar el usuario de operador y su respectiva clave y realizar medición del RIN del láser de semiconductor	Usuario	Se realiza la medición	1	15 minutos		
El usuario debe ingresar el usuario de operador y su respectiva clave y realizar	Usuario	No tiene acceso al código de programación				

modificaciones en el código de programación						
El usuario debe ingresar el usuario de administrador y su respectiva clave y realizar medición del RIN del láser de semiconductor	Usuario	Se realiza la medición	1	15 minutos		
El usuario debe ingresar el usuario de administrador y su respectiva clave y acceder al código de programación	Usuario	Tiene acceso al código de programación	1	15 minutos		
Al ingresar a la cuenta de usuario, se generará una alerta en el que se le pregunta al usuario si ha leído y entendido en su totalidad el manual de operación del banco de pruebas y responderá SI.	Usuario	Tendrá acceso al sistema con sus respectivos privilegios	1	15 minutos		
Al ingresar a la cuenta de usuario, se generará una alerta en el que se le pregunta al usuario si ha leído y entendido en su totalidad el manual de operación del banco de pruebas y responderá NO.	Usuario	Se generará una alerta "Debe leer y entender el manual de operaciones para tener acceso" y se negará acceso al sistema	1	15 minutos		

Se debe verificar la disponibilidad de almacenamiento disponible en el módulo de control	Módulo de control	Mayor a 5GB	1	15 minutos		
Revisar el manual de operaciones	Manual	Debe contar con capítulo de "Privilegios de usuarios"		15 minutos		
Revisar el manual de operaciones	Manual	Debe contar con capítulo de "Configuración del sistema"	1	15 minutos		
Revisar el manual de operaciones	Manual	Debe contar con capítulo de "Límites del sistema"	1	15 minutos		

Tabla 7. Tabla de pruebas

5.3.5 Comentarios

Requerimientos por comprobar	Comentarios
1 El usuario debe ingresar el intervalo de frecuencias en que se realizará la medida del RIN en Hz.	
2 El usuario debe ingresar el valor de la corriente de polarización del láser de semiconductor en que se realizará la medida del RIN en amperios.	
3 El usuario debe ingresar el valor de la temperatura del láser de semiconductor en que se realizará la medida del RIN en grados Celsius.	
4 El usuario debe capacitarse leyendo el manual de operación para el uso del sistema.	
5 El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese la variable de corriente de polarización del láser de semiconductor.	
6 El sistema debe generar una alerta cuando los valores ingresados por el	

	usuario (corriente y/o temperatura) superen los rangos de operación segura del láser de semiconductor.	
7	El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese la variable de temperatura del láser de semiconductor.	
8	El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese el intervalo de frecuencias del láser de semiconductor.	
9	El sistema debe contar con un rol de operario.	
10	El sistema debe contar con un rol de administrador.	
11	El sistema debe tener un sitio con 5GB de almacenamiento para guardar las respectivas mediciones.	
12	El sistema debe enviar notificaciones al usuario en caso de ingreso de datos erróneos.	
13	El sistema debe tener un manual de operación.	
14	El manual de operación deber ser sencillo y de fácil entendimiento.	
15	El sistema debe contar con un plan de pruebas.	

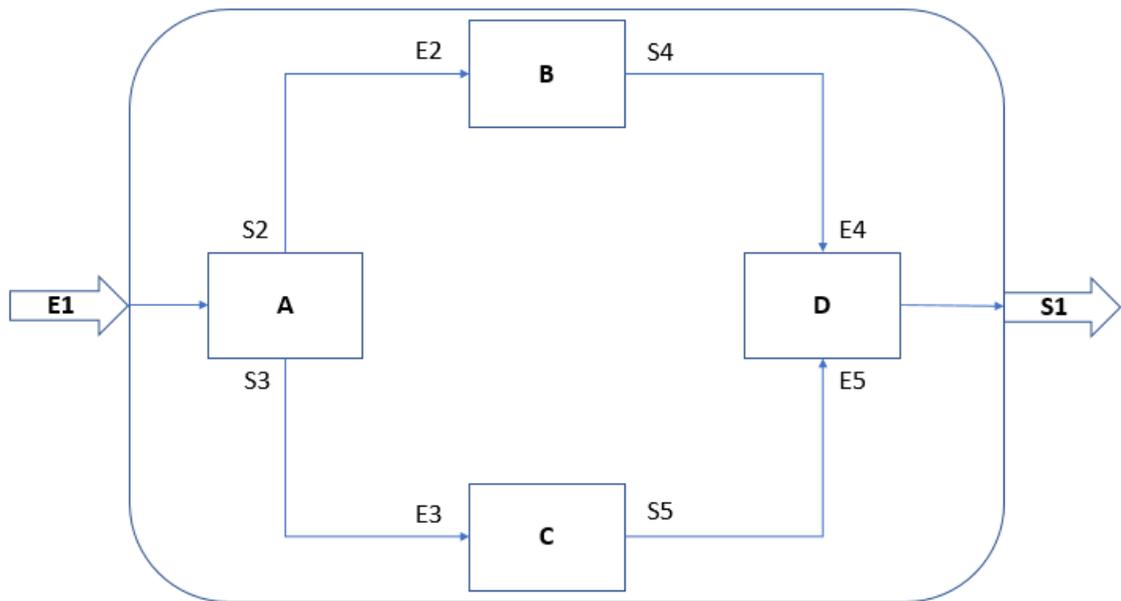
Tabla 8. Tabla de comentarios de los requerimientos

6 METODOLOGÍA

6.1 Proyecto I

El objetivo de la metodología es asegurar que el desarrollo del proyecto esté listo y a conformidad, con dicho fin se establecen los siguientes pasos como referencia:

El diseño funcional se presenta de manera general en el diagrama de bloques que se presenta a continuación:



Activar W

Figura 2. Diseño funcional

6.1.1 Diagrama de bloques diseño funcional.

El anterior diagrama de bloques hace referencia a un bosquejo general del sistema de una manera básica, se requieran más señales de entrada como de salida, este desarrollo completo se encuentra en el capítulo de diseño funcional.

6.1.2 Diseño detallado

El diseño detallado se realiza a partir de las funcionalidades de cada uno de los subestimas ilustrados en la figura anterior y sus requerimientos asociados.

Bloque A

El subsistema A tiene como objetivo la recepción de la señal óptica (E1) obtenida del láser basado en semiconductor y, por consiguiente, convierte por medio de un fotodetector esta variable óptica en variables eléctricas (voltaje DC (S2) y potencia espectral (S3)) para poder ser medibles y procesadas por subsistemas sucesores.

Bloque B

El subsistema B tiene como objetivo la medición de voltaje DC en términos de voltios (V) de la señal eléctrica extraída de la salida DC del fotodetector (S2) para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

Bloque C

El subsistema C tiene como función medir la variable de potencia espectral en términos de dB, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

Bloque D

El subsistema D es el módulo de control encargado de adquirir las variables de entrada, para procesarlas y ejecutar el algoritmo matemático utilizado para el cálculo del RIN del láser de semiconductor.

6.1.3 Selección de componentes

La selección de componentes está basada en el diseño detallado del proyecto.

De acuerdo con las necesidades de cada subsistema y las características que debe tener cada componente.

6.1.4 Implementación y pruebas

El proceso de implementación y pruebas se realizará siguiendo el siguiente paso a paso:

- Pruebas de componentes
- Instalación de componentes
- Implementación de subsistemas
- Pruebas de subsistemas
- Integración de los subsistemas
- Pruebas del sistema general integrado
- ¿Funciona adecuadamente?
- Realizar los ajustes necesarios

7 RECURSOS NECESARIOS

7.1 Recursos de tiempo

El tiempo necesario para la realización del proyecto es de 2 semestres académicos el cual cada semestre se compone de 16 semanas un total de 32 semanas para la realización del proyecto.

7.2 Recursos humanos

El proyecto es realizado por 2 estudiantes y un director del proyecto. Los estudiantes disponen de 10 horas semanales cada uno y asesorías con el director 1 hora semanal.

7.3 Recursos técnicos

- Equipos de medición.
- Software para adquisición y procesamiento de señales.
- Equipos de cómputo.
- Fuente de señal óptica (Láser de semiconductor)

- El proyecto se realizará tanto en las instalaciones de la universidad El Bosque como en la Universidad Nacional sede Bogotá, por esta razón se necesita el uso de los espacios de laboratorios de ambas universidades

7.4 Recursos materiales

- Manuales de dispositivos de medida.
- Manual de dispositivo de conversión opto-eléctrico.
- Manual de fuente de corriente.
- Documentación teórica de láseres de semiconductor.

7.5 Recursos de financiación

Este proyecto se realiza con financiación del proyecto de investigación *Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G a partir de fuentes ópticas* (PCI-2018-10088).

8 ESTADO DEL ARTE

8.1 Bases teóricas

En los sistemas de comunicación la integración de elementos ópticos junto a elementos electrónicos ha permitido el desarrollo de sistemas de transmisión híbridos, que ha sido impulsado por la necesidad de la nueva generación de tecnologías móviles. Uno de los componentes ópticos utilizado como fuente de potencia óptica en los sistemas de osciladores opto-electrónicos es el láser de semiconductor que gracias a su ayuda se producen señales portadoras para la transmisión de información.

Las propiedades por la naturaleza propia del láser de semiconductor, como es el caso de la emisión espontánea, generan una fluctuación en la potencia óptica de salida que da paso al RIN, el cual es ruido que se añade al sistema de comunicación y hace necesario su caracterización.

En cuanto a la literatura RIN es definido como la relación entre la potencia de ruido de densidad espectral y la potencia total [3].

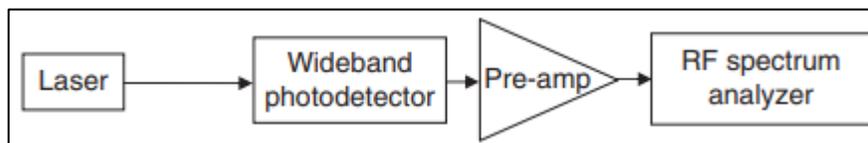


Figura 3. Diagrama de bloques de medida del RIN [4]

La figura 3 muestra un diagrama de bloques compuesto por distintos elementos que tienen como finalidad medir el RIN de un láser. La técnica empleada para este diagrama es descrita por Hui y O'Sullivan [3] y consiste en un láser el cual para la toma de la medida debe operar en onda continua. La señal óptica generada por el láser es recibida por el fotodetector, este debido a la intensidad de ruido, la fluctuación de potencia óptica introduce la fluctuación de fotocorriente y la densidad espectral de la fluctuación de fotocorriente es medida por el

analizador de espectro RF, tomando esto en cuenta la definición de RIN se podría expresar de la siguiente manera

$$RIN = \frac{Sp(\omega)}{\Re^2 P_{opt,ave}^2}$$

Ecuación 2

En donde $Sp(\omega)$ representa la densidad espectral de potencia de ruido y es medida a través del analizador de espectro RF, y $\Re P_{opt}$ es la señal de fotocorriente y $\Re^2 P_{opt}^2$ es la señal de la potencia eléctrica. El resultado al no verse afectado por la incertidumbre en la atenuación óptica en sistemas ópticos, la calibración absoluta del fotodetector no es necesaria.

8.2 Tecnología

En 2011 se desarrolló un sistema de medición de RIN por Vaezi-Nejad, Cox y Copper [4]. Para tener una medida confiable del RIN este grupo de investigadores decidieron tomar otros ruidos que intervenían en el sistema, como el ruido *shot* del detector, el ruido térmico del sistema que pueden ser restados del ruido total y calcular el RIN que se puede expresar como

$$RIN = \frac{Nt}{P_{avg}} = \left(\frac{Nl}{P_{avg}} + \frac{Nq}{P_{avg}} + \frac{Nth}{P_{avg}} \right) Hz^{-1}$$

Ecuación 3

Donde Nl es la intensidad relativa de ruido, Nq es el ruido *shot* y Nth es el ruido térmico del sistema.

El fotodetector convierte la potencia óptica en potencia eléctrica I_p .

Una vez identificados los parámetros, concluyeron que un buen sistema de medida capaz de extraer tales parámetros estaría compuesto por un fotodetector, un amplificador RF, y un analizador de espectro.

Para el cálculo del RIN tomaron en cuenta la información de amplitud respecto frecuencia del analizador de espectro, la medida del ruido total del sistema Nt para luego restarle los componentes de ruido *shot* y térmico.

Las especificaciones que tomaron en cuenta para el sistema fueron:

- La calibración estándar debe ser capaz de medir el ruido del láser tan bajo como es el nivel del ruido *shot* para niveles de potencia óptica, que están en el rango de 100 μ W a 5mw.
- La sensibilidad de la medida del RIN del láser debe ser capaz de niveles tan bajos como -170dB/Hz a 1mw sobre el rango de frecuencia de 10MHz a 20GHz con una incertidumbre de \mp 1dB.
- El rango dinámico de la medida del RIN debe ser por lo menos de 70dB para que así la versatilidad de la medida se pueda alcanzar.
- El sistema de medir frecuencias *chirps* tan grandes como 50GHz y tan bajas como 100kHz.

- Ambos RIN y la frecuencia *chirps* debe estar concentrada en dos ventanas de telecomunicaciones de 1300 y 1550 nm (± 50 nm)

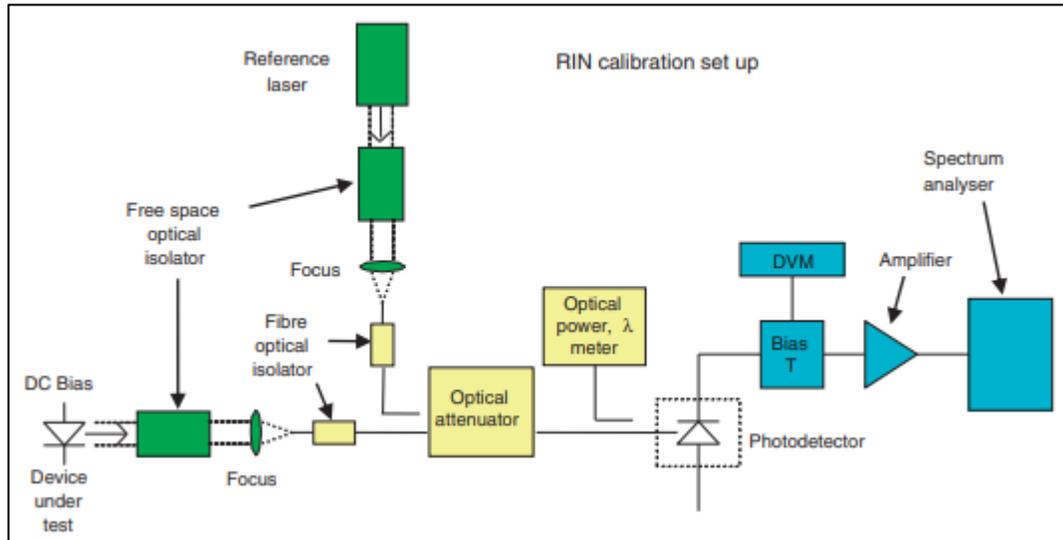


Figura 4. Set up de Vaezi-Nejad, Cox y Copper [5]

Con el sistema de medición de la figura 4 el equipo de investigación logra que el sistema tuviera una mejora en la sensibilidad de 4-14dB en comparación de lo disponible comercialmente y de los laboratorios nacionales de Estados Unidos, que se puede lograr gracias a la selección de los componentes y a la calibración implementada.

En 1991 por medio de la empresa de investigación, desarrollo y manufactura Agilent Technologies se desarrolló el primer instrumento de medida de RIN en el mercado Keysight 71400C/714001C. Este dispositivo dio un precedente para que los siguientes equipos de medición de RIN tomaran en cuenta sus técnicas de medición.

Agilent Technologies siendo la empresa pionera en el desarrollo de dispositivos de medición de RIN fue absorbida por la compañía Keysight Technologies que se dedica a la manufactura de equipos de medición y continuo con el desarrollo de equipos y técnicas de medición del RIN. Keysight 86100C Infiniium DCA-J es un osciloscopio que permite medidas de amplitud y gracias al modo Jitter que puede bloquear patrones de hasta 2^{16} bits de largo y separar efectos aleatorios de interferencia, permite una medida precisa en una variedad de patrones del RIN [5]. Los elementos utilizados que se utilizan son los siguientes:

- Fuente de señal digital
- Dispositivo bajo prueba (Láser de semiconductor)
- Controlador de polarización (Opcional)
- Divisor de potencia óptica (Opcional)
- Reflector (Opcional)
- 86100C Infiniium DCA-J

La herramienta Keysight 86100C Infiniium DCA-J cuenta con la capacidad de calcular tanto el valor de RIN (señal sin modulación) como el de RIN OMA (señal modulada) de la siguiente manera:

- La medida del RIN solo toma en cuenta la información de los estados "1" para tomar el cálculo la potencia de ruido óptico, potencia de fotocorriente y RIN.
- La medida del RIN OMA toma en cuenta la información de los estados en "1" y "0" para tomar el cálculo la potencia de ruido óptico, potencia modulada y RIN OMA.
- El ancho de banda del ruido es 1.05 veces el ancho de banda del receptor.
- Mide solo el ruido total de la potencia de ruido óptico integrado en todas las frecuencias que pasan por el filtro pasa bajo. Si un filtro tiene oscilaciones de relación o depende de la frecuencia en la densidad de la potencia de ruido, se filtran: si son lo suficientemente altas en frecuencia el filtro pasa bajo lo removerá completamente, de lo contrario el instrumento va a ver el efecto acumulado (densidad espectral integrada) y las promediará.
- Un número mayor de dígitos idénticos consecutivos puede ocurrir con menos frecuencia en un patrón secuencia binaria pseudoaleatoria, pero disminuye aún más la probabilidad de que variaciones de amplitud deterministas tales como interferencia entre símbolos afectan la precisión de la medición de RIN.
- El rango dinámico del RIN depende de la potencia de señal del dispositivo bajo prueba, los detalles de la conversión O / E y el ruido electrónico interno a el módulo específico en uso.

Tomando en cuenta del primer dispositivo de medida del RIN en el mercado Keysight 71400C/714001C, la empresa planteó una configuración alternativa con dispositivos actualizados, que trata de emular el hardware con la unión de distintos equipos como lo son:

- Acoplador opto-eléctrico.
- Multímetro DC con una resistencia de carga de 50 ohm
- Analizador de espectro con ruido intrínseco bajo

En este caso el cálculo del RIN se tendría que realizar a mano, calculando las variables necesarias lo cual hace que este proceso largó y poco eficiente.

Uno de los últimos sistemas de medición de RIN hechos por la empresa Keysight es Syscatus A0010A RIN Measurement System que junto a la compañía Sycatus desarrollaron un dispositivo de medida de RIN con un ancho de banda de 40GHz [6], esta configuración está compuesta por los siguientes elementos:

- Dispositivo bajo prueba
- Atenuador óptico Keysight (Opcional):
 - Condiciona la potencia recibida
- Receptor óptico Sycatus:
 - Demodulación opto-eléctrica con temperatura y voltaje *bias* estabilizado.
 - Monitoreo de fotocorriente.
- Analizador de señales X-Series Keysight:
 - Medida de la amplitud de la densidad de corriente de ruido total.
- Multímetro digital Keysight:
 - Medida del promedio de fotocorriente.

El software del sistema se instala en el analizador de señales y no requiere un computador externo. El atenuador óptico opcional es usado para controlar la potencia óptica que entra al receptor óptico y de esta manera lo protege de exceso de potencia óptica.

El módulo O2EPXIe-1901 de Coherent Solutions es un receptor óptico con un ancho de banda de 10GHz que junto al atenuador VOAPXIe-1001, el analizador de espectro PXIe-5840 y un dispositivo bajo prueba son los componentes que conforman el sistema de medición de RIN propuesto por la empresa de Coherent Solutions [7].

Con la habilitación del láser, el atenuador VOAPXIe-1001 es usado para ajustar la potencia promedio que recibe el receptor O2EPXIe-1901 en -2.00dBm y el ruido *shot*.

Con el analizador de espectro y el láser deshabilitado se obtiene el ruido térmico.

Por último, con el láser habilitado y usando el analizador de espectro el ruido total del sistema es medido, con las variables de ruido medidas se calcula la intensidad de ruido y su respuesta en la frecuencia. Esto permite resolver el RIN del dispositivo bajo prueba.

9 DISEÑO FUNCIONAL

9.1 Caja con entradas y salidas

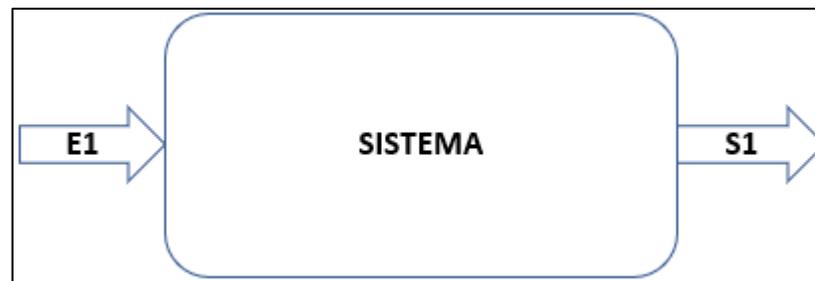


Figura 5. Diagrama de bloques del sistema.

E (1) es la variable principal de entrada que representa el láser basado en semiconductor sin caracterizar, es decir; la alimentación de un láser sin un sistema que permita ver la curva de intensidad relativa de ruido.

S (1) es la variable de salida del sistema que hace referencia a un sistema de medición de intensidad relativa de ruido para láseres basados en semiconductor que entregue el valor del RIN y su grafica en el dominio de la frecuencia.

9.2 Alternativa de diseño 1

9.2.1 Caja con función, entrada y salida

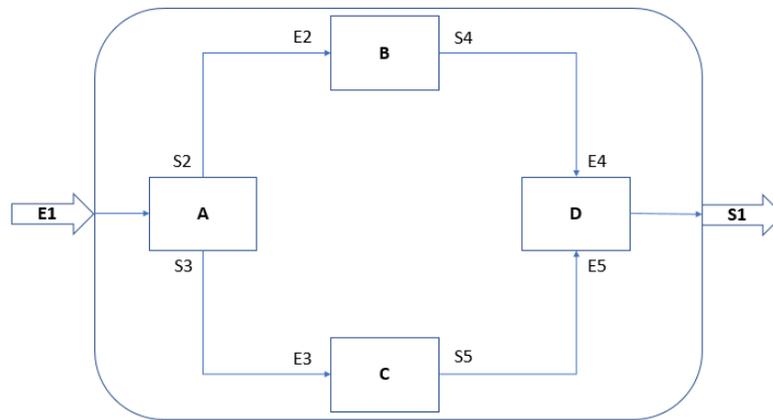


Figura 6. Alternativa 1

9.2.2 Nombre de las señales entre cajas

- E1= Señal óptica del láser de semiconductor.
- E2= Variable de voltaje DC.
- E3= Variable de potencia espectral.
- E4= Medida de voltaje DC.
- E5= Medida de potencia espectral.
- S1= Grafico de línea de la medida del RIN en dB /Hz con respecto a frecuencia (Hertz).
- S2= Variable de voltaje DC.
- S3= Variable de potencia espectral.
- S4= Medida de voltaje DC.
- S5= Medida de potencia espectral.

9.2.3 Funciones de cada subsistema

Subsistema A: se comporta como el receptor de la señal óptica y la convierte en variables eléctricas (voltaje DC y potencia espectral), para poder ser medibles y procesadas.

Subsistema B: es el encargado de medir la variable de voltaje DC en términos de voltaje, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

Subsistema C: es el encargado de medir la variable de potencia espectral en términos de dB, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

Subsistema D: es el módulo de control encargado de adquirir las variables de entrada, para procesarlas y ejecutar el algoritmo matemático utilizado para el cálculo del RIN del láser de semiconductor.

9.3 Alternativa de diseño 2

9.3.1 Caja con entradas y salidas

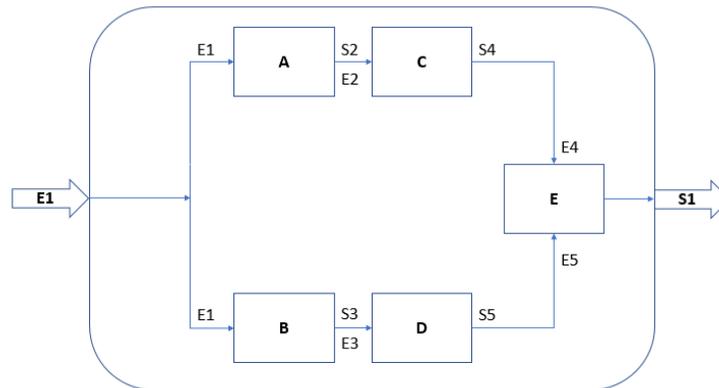


Figura 7. Alternativa 2

9.3.2 Nombres de las señales entre cajas

- E1= señal óptica del láser basado en semiconductor
- E2= variable de voltaje DC
- E3= variable de potencia espectral
- E4= medida de voltaje DC
- E5= medida de potencia espectral
- S1= Grafico de línea de la medida del RIN en dB /Hz con respecto a Hertz.
- S2= Variable de voltaje DC.
- S3= Variable de potencia espectral.
- S4= Medida de voltaje DC.
- S5= Medida de potencia espectral.

9.4 Funciones de cada caja

Subsistema A: se comporta como el receptor de la señal óptica y la convierte en variable eléctrica (voltaje DC), para poder ser medible y procesada.

Subsistema B: se comporta como el receptor de la señal óptica y la convierte en variable de electricidad (potencia espectral), para poder ser medible y procesada.

Subsistema C: es el encargado de medir la variable de voltaje DC en términos de voltaje, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

Subsistema D: es el encargado de medir la variable de potencia espectral en términos de dB, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

Subsistema E: es el módulo de control encargado de adquirir las variables de entrada, para procesarlas y ejecutar el algoritmo matemático utilizado para el cálculo del RIN del láser de semiconductor.

9.5 Selección de alternativa

Las dos alternativas nombradas anteriormente dan solución al problema de *Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G a partir de fuentes ópticas* (PCI-2018-10088). Se escoge la alternativa de diseño 1 ya que esta nos permite convertir la señal óptica en señales eléctricas (voltaje DC y potencia espectral) mediante un bloque (bloque A), mientras que la alternativa de diseño 2 necesita de dos subsistemas (bloque A y bloque B) para arrojar las variables de voltaje DC y potencia espectral. Esta desventaja nos permite descartar la alternativa 2 por motivos económicos, ya que nos obligaría a utilizar dos transductores que me conviertan la señal óptica en variables de voltaje y potencia de forma independiente. Al usar la alternativa 1, estaríamos reduciendo el número de subsistemas y el costo de elemento.

10 DISEÑO DETALLADO

10.1 Subsistema A

Conversión de la señal en el dominio óptico al dominio eléctrico

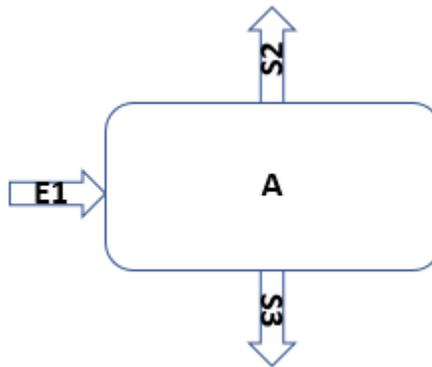


Figura 8. Subsistema A

10.1.1 Requerimientos de subsistemas

El subsistema A mostrado en la anterior figura tiene como objetivo la recepción de la señal óptica (E1) obtenida del láser basado en semiconductor y, por consiguiente, convierte por medio de un fotodetector esta variable óptica en variables eléctricas (voltaje DC (S2) y potencia espectral (s3)) para poder ser medibles y procesadas por subsistemas sucesores.

10.1.2 Requerimientos funcionales

- El fotodetector debe convertir la señal óptica en señal eléctrica.
- El tipo de cable de la señal de entrada debe ser fibra óptica mono-modo.

- El ancho de banda del fotodetector debe estar dentro del rango de 300MHz a 15GHz.
- El fotodetector debe tener salidas independientes AC y DC.

10.1.3 Requerimientos de calidad

- La señal de entrada debe superar los valores de corriente oscura del fotodiodo.
- potencia mínima de la señal de entrada debe ser de 0,5 mW.
- La responsividad del fotodetector debe estar dentro del rango de 0,5 a 1 A/W.

10.1.4 Requerimientos de restricción

- El conector de entrada de la señal óptica del láser debe ser de referencia FC/PC.
- La potencia máxima del haz de luz del láser debe ser máximo 1Mw

10.1.5 Funciones, entradas y salidas subsistema A

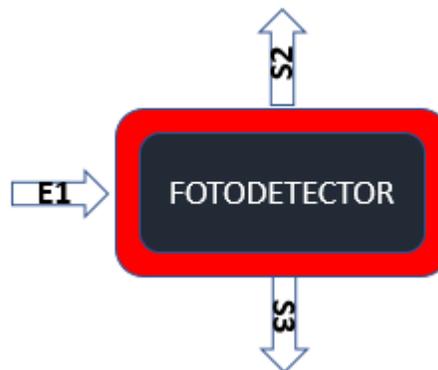


Figura 9. Subsistema A

- **Función:** El subsistema A por medio de un fotodetector, debe determinar a partir de la señal de haz de luz emitida por el láser basado en semiconductor, señales de potencia espectral y voltaje DC representados en vías de salidas diferentes.
- **Entrada del subsistema (E1):** Señal óptica con potencia máxima de 1 mW que contiene el haz de luz de un láser basado en semiconductor a la que se le medirán componentes en AC Y DC con el fin determinar la curva del RIN.
- **Salidas del subsistema (S2, S3):** señales eléctricas DC y AC respectivamente conectadas cada una a elementos de medida que permitan determinar los valores reales de la señal con el fin de realizar un algoritmo para la medición del RIN en la señal óptica.

10.1.6 Diseño del subsistema A

El dispositivo electrónico que cumple con los parámetros de funcionamiento necesarios para el proceso de transducción es el fotodetector New Focus 1414 el cual fue establecido anteriormente en requerimientos de restricción establecido como uso de equipos propios.

10.1.7 Diagrama esquemático de subsistema A

El esquemático de entradas y salidas de los dispositivos evaluados se exponen según sus manuales correspondientes:

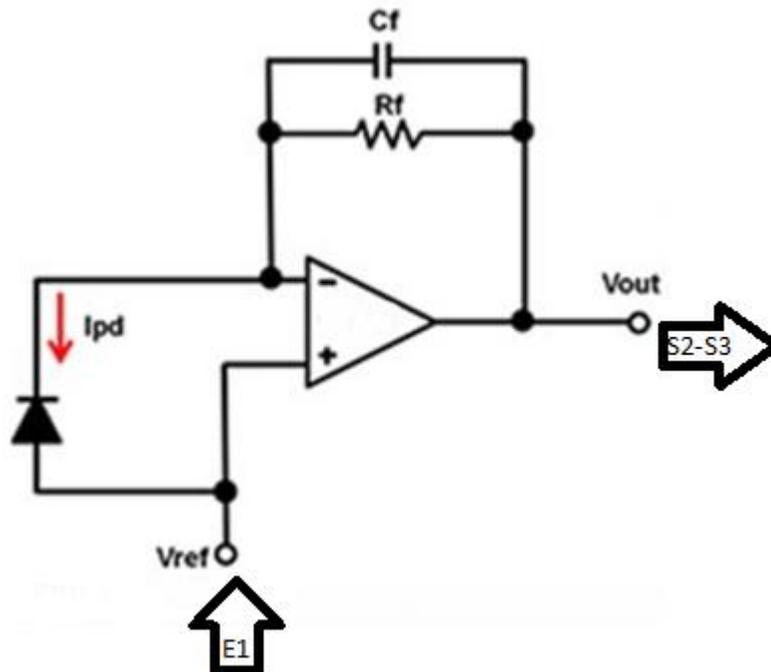


Figura 10. Fotodiodo New Focus 1414

10.1.8 Simulación del subsistema A

La simulación del subsistema (A) no se puede ejecutar debido no se cuenta con un software que permita realizar una simulación de las señales generadas por los instrumentos a instalar, por tal razón, no es posible llevar a cabo una simulación para dicho subsistema.

10.1.9 Plan de pruebas del subsistema A

COMPONENTE	1414
OBJETIVO	Comprobar que el componente tenga una correcta configuración de alimentación con respecto a la señal que recibe del láser y que los puertos de salida estén enviando información

MATERIALES	Mesa anti-vibraciones, Láser basado en semiconductor, base para Láser, fibra óptica mono modo, fotodetector, conector FC/APC, medidor de potencia óptica.
PRUEBA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Acoplar el Láser a su respectiva base. 2. Acoplar la base del láser a la mesa anti-vibraciones. 3. Conectar la fuente de corriente y temperatura a la base para láser. 4. Conectar el láser al fotodetector. 5. Verificar que todas las conexiones de fibra óptica estén bien acopladas. 6. Encender la fuente de alimentación 7. Medir la potencia con el medidor de potencia óptica.

Tabla 9. Prueba para el componente

10.2 Subsistema B

Medidor de voltaje DC

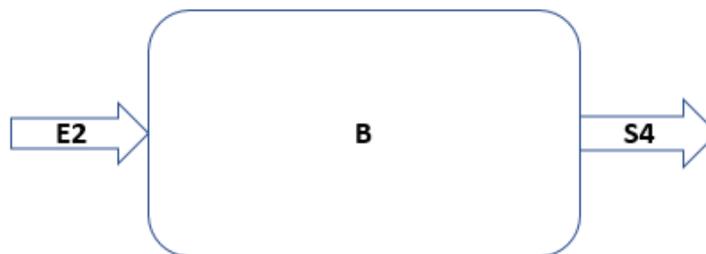


Figura 11. Subsistema B.

10.2.1 Requerimientos del subsistema B

El subsistema B mostrado en la anterior figura tiene como objetivo la medición de voltaje DC en términos de voltios (V) de la señal eléctrica extraída de la salida DC del fotodetector (s2) para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

10.2.2 Requerimientos Funcionales

- El subsistema B debe medir el voltaje DC de la señal eléctrica.
- El subsistema B debe relacionar el valor de Voltaje DC medido con su respectivo valor de frecuencia.

10.2.3 Requerimientos de calidad

- La resolución del multímetro debe ser menor 0,1 mV
- La frecuencia del voltímetro debe tener alcance de MHz

10.2.4 Requerimientos de restricción

- La entrada (E2) del subsistema B debe tener adaptador banana- SMA.
- La salida (S4) del subsistema B debe ser comunicación serial.

10.2.5 Funciones entradas y salidas subsistema B

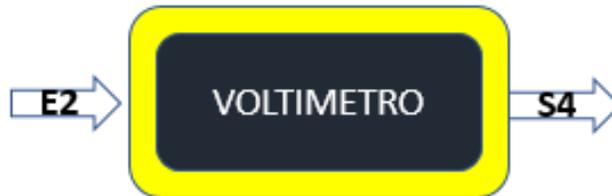


Figura 12. Medidor de voltaje DC.

- **Función:** El subsistema C tiene como función medir la variable de potencia espectral en términos de dB, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.
- **Entrada del subsistema (E2):** señal eléctrica de corriente directa extraída del fotodetector por medio de un cable SMA
- **Salida del subsistema (S4):** señal de voltaje DC en variables de voltaje (V) extraída del subsistema B mediante un cable de comunicación serial.

10.2.6 Diseño del subsistema B

El dispositivo electrónico que cumple con los parámetros de funcionamiento necesarios para el proceso de medición de voltaje es el multímetro Fluke 8808A el cual fue establecido anteriormente en requerimientos de restricción establecido como uso de equipos propios.

10.2.7 Diagrama esquemático del subsistema B

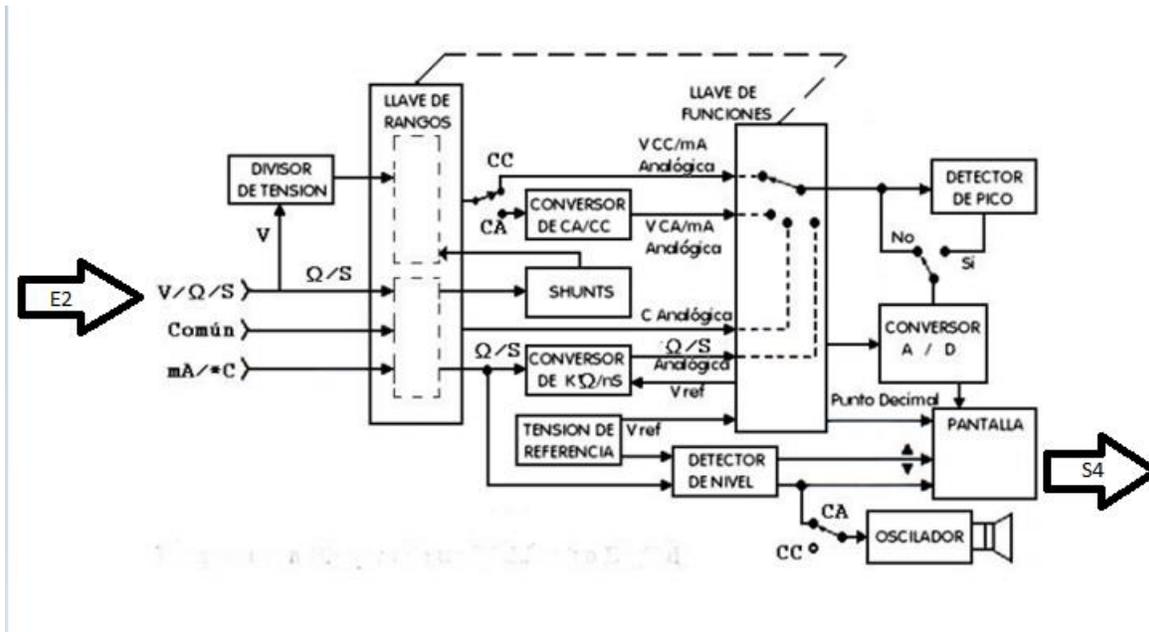


Figura 13. Esquemático subsistema B [8]

10.2.8 Simulación subsistema B

Para el subsistema B, no se cuenta con un software que permita realizar una simulación de la medida de la potencia espectral de la señal de radio frecuencia enviada desde el subsistema A.

10.2.9 Plan de pruebas del subsistema B

COMPONENTE	Fluke 8808A
OBJETIVO	Comprobar que el componente tenga una correcta configuración de alimentación con respecto a la señal que recibe del fotodetector.
MATERIALES	Señal eléctrica proveniente del fotodetector. Cable con conexión serial, cable con acople banana-SMA
PRUEBA	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conectar la salida DC del fotodetector a la entrada del multímetro mediante el acople banana-SMA 2. Encender el multímetro y ver si se está leyendo la señal. 3. Conectar el cable de salida del multímetro con el cable serial con el fin de realizar la conexión al subsistema de módulo de control (D)

Tabla 10. Prueba para el componente

10.3 Subsistema C

Instrumento de medida de potencia espectral

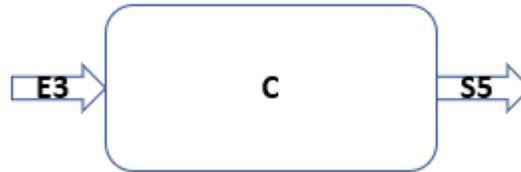


Figura 14. Entradas y salida de subsistema C

10.3.1 Requerimientos del subsistema c

10.3.2 Requerimientos funcionales

- El subsistema C debe medir la variable de potencia espectral.
- El subsistema C debe relacionar el valor de potencia espectral medida con su respectivo valor de frecuencia.

10.3.3 Requerimientos de calidad

- El subsistema C debe medir variables de frecuencias de 300 MHz a 15 GHz
- El subsistema C debe contar con un puerto de comunicación serial.
- El subsistema C debe contar con una entrada de radio frecuencia.
- La entrada de radio frecuencia debe ser compatible con un conector SMA (SubMiniature versión A).

10.3.4 Requerimientos restrictivos

- El subsistema C debe tener un ruido de piso igual o menor a -160dBm.

10.3.5 Funciones, entradas y salidas subsistema C

El subsistema C tiene como función medir la variable de potencia espectral en términos de dB, para que el módulo de control sea capaz de adquirirla y procesarla, y de esta manera realizar la medida del RIN de un láser de semiconductor.

10.3.6 Diseño del subsistema C

El dispositivo electrónico que cumple con los parámetros de funcionamiento necesarios para el proceso de medición de potencia espectral es el analizador de espectro R&S FSW43 el cual fue establecido anteriormente en requerimientos de restricción establecido como uso de equipos propios.

10.3.7 esquemático del subsistema C

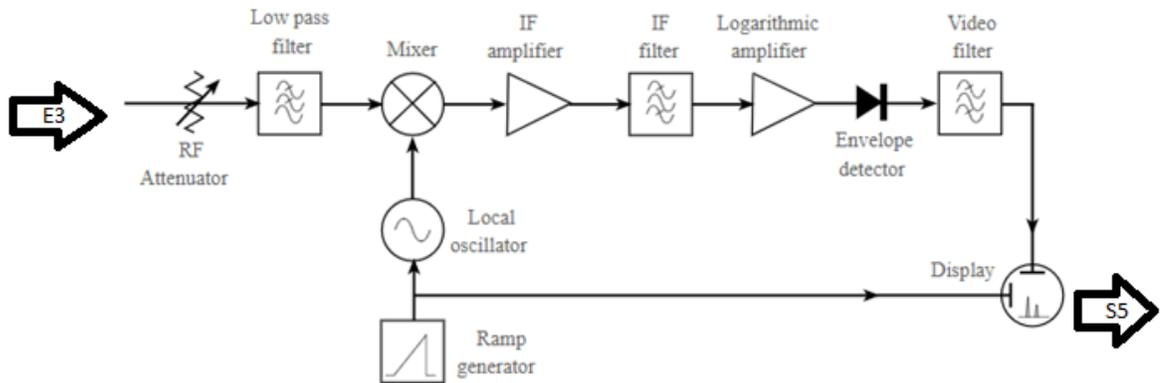


Figura 15. Esquemático de Analizador de espectro [9]

10.3.8 Simulación subsistema C

Para el subsistema C, no se cuenta con un software que permita realizar una simulación de la medida de la potencia espectral de la señal de radio frecuencia enviada desde el subsistema A.

10.3.9 Plan de pruebas de subsistema C

Prueba	Descripción	Valor esperado	Valor real
1	Verificación del ruido de piso.	<160 dBm	
2	Verificación de ancho de banda	300 MHz – 15 GHz	

Tabla 11. Plan de pruebas subsistema C

Este plan de pruebas tiene como objetivo verificar el cumplimiento por parte del analizador de espectro de los requerimientos planteados para el respectivo subsistema.

10.4 Subsistema D

Módulo de control



Figura 16. Entradas y salidas subsistema D

- E4= Medida de voltaje DC.
- E5= Medida de potencia espectral.
- S1= Grafico de línea de la medida del RIN en dB /Hz con respecto a frecuencia (Hertz).

10.4.1 Requerimientos del subsistema D

10.4.2 Requerimientos funcionales

- El subsistema D debe contar con un software de ingeniería.
- El software de ingeniería debe ejecutar un algoritmo matemático.
- El subsistema D debe tener un puerto con interfaz RS-232.
- El subsistema D debe tener un puerto con interfaz LAN.
- El subsistema D debe adquirir los datos de medida del subsistema C.
- El subsistema D debe adquirir los datos de medida del subsistema B.
- El subsistema D debe procesar los datos de medida adquiridos del subsistema B.
- El subsistema D debe procesar los datos de medida adquiridos del subsistema C.
- El subsistema D debe tener una interfaz gráfica.

10.4.3 Requerimientos de calidad

- El algoritmo matemático debe calcular el valor de RIN.
- Los valores de la medida del RIN deben estar comprendidos dentro del rango de frecuencias seleccionado por el usuario.
- El Subsistema D debe mostrar el valor de la medida del RIN a través de un gráfico de línea en dB /Hz con respecto a Hertz.

10.4.4 Requerimientos restrictivos

- El subsistema D debe tener un sistema operativo Windows, macOS o Linux.
- El subsistema D debe tener un tipo de sistema de 32 bits o superior.
- El subsistema D debe tener un mínimo de memoria RAM de 1 GB.
- El subsistema D debe tener un espacio disponible de 10 GB en el disco duro.

10.4.5 Funciones, entradas y salidas subsistema D

El subsistema D es el módulo de control encargado de adquirir las variables de entrada desde los instrumentos de medida de los subsistemas B y C, para procesarlas y ejecutar el algoritmo matemático utilizado para el cálculo del RIN del láser de semiconductor.

10.4.6 Diseños subsistema D

- **Software**

Para la implementación del subsistema D se plantea usar un equipo computacional que cumpla con los requisitos exigidos en el apartado 15.4.1, acompañado por un software de ingeniería capaz de ejecutar las instrucciones necesarias para la adquisición, procesamiento, y cálculo del valor del RIN del láser de semiconductor a través de un algoritmo matemático.

Los softwares seleccionados capaces de desarrollar dichas acciones son:

Requerimientos	Componente 1: <i>Visual Studio Code</i>
Sistema operativo	<ul style="list-style-type: none"> • MacOS • Windows • Linux
Tipo de sistema	32-bit y 63-bit
RAM	1 GB
Disco duro	200 MB

Tabla 12. Especificaciones de componente 1.

Requerimientos	Componente 2: <i>Matlab</i>
Sistema operativo	<ul style="list-style-type: none"> • MacOS • Windows • Linux
Tipo de sistema	32-bit y 63-bit
RAM	1 GB
Disco duro	6 GB

Tabla 13. Especificaciones de componente 2.

Requerimientos	Componente 3: <i>LabVIEW</i>
Sistema operativo	<ul style="list-style-type: none"> • MacOS • Windows • Linux
Tipo de sistema	32-bit y 63-bit
RAM	250 MB
Disco duro	5 GB

Tabla 14. Especificaciones de componente 3.

Tomando en cuenta los requerimientos establecidos anteriormente que determinan el software indicado para la adquisición y procesamiento de las variables de medida, los tres

softwares escogidos cumple con cada uno de los requisitos, sin embargo debido a que Python es uno de los lenguajes de programación más utilizados en los últimos tiempos y cuenta con una comunidad mucho mayor que los lenguajes de programación utilizados en Matlab o LabVIEW lo que permite un mayor soporte al momento de configuración del sistema, se toma la decisión de utilizar el software de Visual Studio Code como herramienta para ejecutar las tareas, de adquisición y procesamiento de las variables de medida dentro del módulo de control.

- **Métodos de comunicación**

El módulo de control cuenta con dos tipos de entradas independientes, E4 encargada de obtener los valores de voltaje DC del subsistema B y la entrada E5 encargada de coleccionar los valores de potencia espectral del subsistema C. Al ser dos instrumentos de medida con características y funciones distintas, se evaluará la operación remota de estos instrumentos por medio de los sistemas de comunicación disponibles de cada uno.

- **Comunicación puerto de entrada E4**

El puerto de entrada E4 corresponde al punto de comunicación entre el subsistema B y el subsistema D. A través de la selección por equipos propios para el subsistema B se tomó la decisión de escoger el multímetro digital Fluke 8808^a el cual según sus especificaciones cuenta con los siguientes puertos de salidas de comunicación:

Summary Specifications			
	8808A	8845A	8846A
Display	VFD multi segment display	VFD dot matrix	
Resolution	5.5 digits	6.5 digits	
Input output			
USB memory	–	–	USB memory drive port
Real time clock	No	No	Yes
Interfaces	RS-232, USB with optional adapter	RS 232, IEE-488.2, Ethernet, USB with optional adaptor	
Programming Languages/modes	Simplified ASCII, Fluke 45	SCPI (IEEE-488.2), Agilent 34401A, Fluke 45	

Figura 17. Interfaces de entradas y salidas del Fluke 8808A [10]

Comunicación RS232

Es un tipo de comunicación serial la cual usa un conector tipo DB-25 de 25 pines o la versión DB-9 de nueve pines los cuales son muy comunes de encontrar en las computadoras debido a que el estándar del puerto serial se mantiene desde hace muchos años. La institución de normalización americana (EIA) ha escrito la norma *RS232-C* que regula el protocolo de transmisión de datos, el cableado, las señales eléctricas y los conectores en los que debe basarse una conexión RS-232. La comunicación realizada con el puerto serial es una comunicación asincrónica. Para la sincronización de una comunicación se precisa de un:

- **Bit de inicio:** cuando el receptor detecta el bit de inicio, se ha comenzado la transmisión de información y a partir de este se debe leer la transmisión y lectura de señales de línea a distancias concretas de tiempo en función de la velocidad determinada.
- **Bit de parada:** indica la finalización de una palabra de datos. El protocolo de transmisión de datos permite 1, 1.5 y 2 bits de parada.
- **Bits de paridad:** los bits de paridad pueden detectar errores de transmisión. Se puede dar paridad par o impar.

Interfaz	RS-232
Velocidad en baudios	9600
Paridad	Bit de paridad 0
Numero de Bits de datos	8
Transmisión	Asíncrona
Librería Python	Serial, Pyvisa

Tabla 15. Interfaz 232 Fluke 8808A

Con tan solo una interfaz de comunicación para el multímetro Fluke 8808A, se determina que el método de comunicación utilizado por la entrada E4 será de tipo serial debido a la disponibilidad del equipo de medición.

Registro de estado para Fluke 8808A

Registro	Leer comando	Escribir comando	Habilitar registro
Contenido de registro de estado	*STB?	NONE	SRE
Registro de habilitación del servicio	*SER?	*SRE	NONE
Registro de estado de evento	*ESR?	NONE	ESE
Registro de habilitación de estado de evento	*ESE?	*ESE	NONE

Tabla 16. Tabla de registro de estado

El contenido del registro de estado (STB) está determinado por el registro de habilitación del servicio (SRE), registro de estado de evento (ESR), registro de habilitación de estado de evento (ESE) y la salida buffer. El registro de estado de evento asigna eventos especificados a bits específicos, cuando un bit en el (ESR) se establece en 1 el evento que corresponde a ese bit ocurrió después del registro se leyó por última vez o se borró. Por ejemplo, si el bit 3 (DDE) se establece en 1, un error dependiente del dispositivo ha ocurrido. El ESE es un registro de máscara que permite al host habilitar o deshabilitar (enmascarar) cada bit en el ESR. Cuando

un bit en el ESE se establece en 1, se habilita el bit correspondiente en el ESR. Cuando cualquier bit habilitado en el ESR cambia de 0 a 1, el bit ESB en el STB también cambia a 1. Cuando se lee el ESR con el * ESR? comando o borrado utilizando el * Comando CLS, el bit ESB en el STB vuelve a 0.

En la siguiente tabla se muestra la descripción de bits en registro de estado de evento (ESR) y en Registro de habilitación de estado de evento.

No BIT	Nombre	Condición
0	Operación completa (OPC)	Todos los comandos antes de recibir un comando * OPC tienen sido ejecutado La interfaz está lista para aceptar otro mensaje.
1	No usado	Siempre puesto a cero
2	Error de consulta (QYE)	Intenté leer datos del búfer de salida del medidor cuando no hay salida presente o pendiente. O recibí una nueva línea de comando antes de una consulta previa fue leído. O las memorias intermedias de entrada y salida estaban llenas.
3	Error dependiente del dispositivo (DDE)	Entrada incorrecta durante la calibración. O desbordamiento de búfer de entrada RS-232.
4	Error de ejecución (EXE)	Command was understood but could not be executed. This can result from a command that contained an inappropriate parameter.
5	Error de comando (CME)	entendido. Esto puede resultar de un comando que contenía Un error de sintaxis.
6	No usado	Siempre puesto a cero
7	Encendido	La energía se apagó y se encendió desde la última vez que el ESR fue leído o despejado

Tabla 17. Descripción de bits en registro de estado de evento

Conector de comunicación puerto E4

Al establecer la comunicación del medidor de voltaje DC al subsistema de procesamiento de las señales (PC) como una comunicación serial RS232, se debe utilizar un cable serial con las siguientes características:

Característica	Descripción
Protocolo serial	RS232
Conexión frontal	9-pin, Hembra DB-9
Conexión Back-End	9-pin, Hembra DB-9
Longitud	4 metros

Tabla 18. Características conector RS-232

A continuación, se ilustra la asignación de señales a cada pin de la interfaz RS232 de acuerdo con la norma de intercambio de datos binarios en serie entre un computador y un equipo de comunicación de datos.

Pin	Señal
Pin 1	DCD Carrier Detect
Pin 2	RD Recieved Data
Pin 3	TD Transmitted Data
Pin 4	DTR Data Terminal Ready
Pin 5	G Common Ground
Pin 6	DSR Data Set Ready
Pin 7	RTS Request To Send
Pin 8	CTS Clear To Send
Pin 9	RI Ring Indicator

Tabla 19. Señales conector RS-232



Figura 18. Cable serial RS232 [11]

- **Comunicación Puerto de entrada E5**

E5 corresponde a la comunicación del subsistema C y D, esta entrada tiene la característica de recibir los valores de potencia espectral medidos por el analizador de espectro R&S FSW43, escogido por medio del método de selección de equipos propios. A continuación, se encuentran los tipos de comunicación remota disponibles por este:

Interfaz	Protocolos, librerías	Ancho de banda	Latencia
LAN	TCP/IP, VISA	12.5 Mbits/s 125 Mbits/s (GB LAN)	300us
GPIB	VISA	1.8 Mbits/s	250 us
USB	VISA	60 Mbits/s 120 Mbits/s	1000us 125us

Tabla 20. Interfaces puerto E5

Comunicación GPIB

es un estándar bus de datos digital de corto rango desarrollado por Hewlett-Packard desarrollado para conectar dispositivos de testeo y medición con dispositivos que los controlen como un ordenador. En 1978 el bus fue estandarizado por el Institute of Electrical and Electronics Engineers (IEEE) como el IEEE-488. El bus GPIB está basado en 16 líneas activas, además de la tierra. Estas 16 líneas se organizan en tres buses:

- Bus de Datos (DIO1-DIO8) (Data input/output): Es un bus bidireccional de 8 líneas orientado a la transferencia de bytes o de caracteres ASCII.
- Bus de sincronización de la transferencia de datos: Es un conjunto de tres líneas (DAV: Data valid, NRFD: Not Ready For Data y NDAC: Not Data Accepted) que se utilizan de forma coordinada para asegurar la transferencia de datos entre los equipos.
- Bus de control: Está constituido por 5 líneas (ATN: ATteNtion, IFC: InterFace Clear, SRQ: Service ReQuest, REN: Remote ENable, y EOI: End Or Identify) que se utilizan para transferir comandos entre los equipos relativos al modo de interpretar los datos que se transfieren o comandos básicos de gobierno de la interfaz del bus.

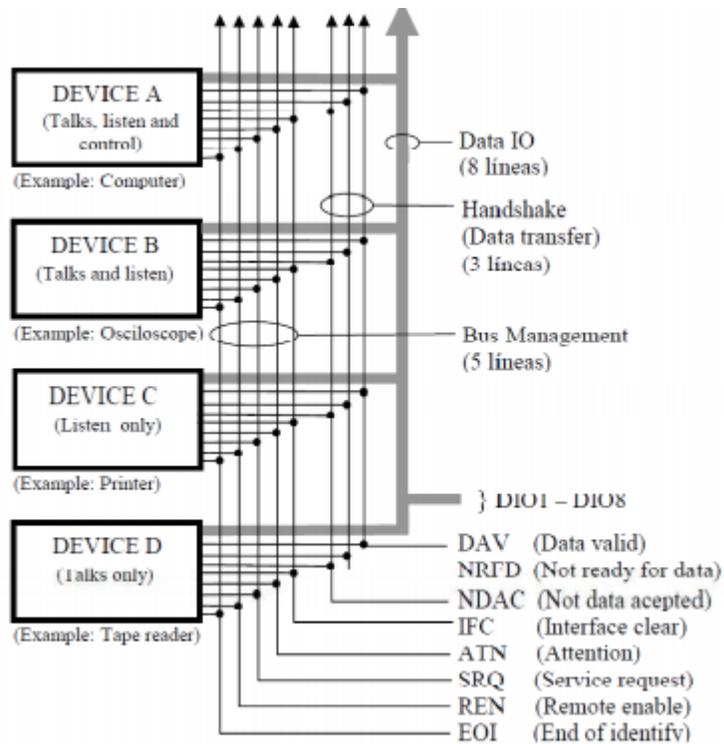


Figura 19. Estructura del bus GPIB

Tomando en cuenta las características únicas de las distintas interfaces del analizador de espectro, se descarta el uso de la interfaz de comunicación GPIB debido a que esta requiere de una tarjeta de interfaz, la cual no es común en la mayoría de ordenadores lo que restringiría la oferta de computadores para su uso en el proyecto, de igual forma este cuenta con un límite de distancia entre el equipo de control remoto y el instrumento de medida la cual no deberá superar los 2 metros, una limitación que no se tiene en cuenta en las demás interfaces del equipo.

La interfaz LAN es escogida como método de comunicación entre el analizador de espectro y el módulo de control, ya que este tipo de interfaz presenta la posibilidad de tener dos tipos acceso al instrumento de medida por medio del protocolo TCP/IP o de la capa de abstracción que provee la librería VISA, lo que permite tener un panorama de configuración más amplio, a diferencia de la interfaz de USB que a pesar de tener un ancho de banda parecido a la LAN, tan solo tiene un método de comunicación con el instrumento de medida.

Conector de comunicación puerto E5

Al establecer la comunicación del analizador de espectro R&S FSW43 al subsistema de procesamiento de señales (PC) como una comunicación LAN se debe utilizar un cable LAN con las siguientes características:

Característica	Descripción
Protocolo	LAN
Conexión frontal	Macho, RJ-45
Conexión Back-End	Macho, RJ-45
Longitud	4 metros
Categoría 5	Hasta 100 Mbit/s
Pines	8
Cable tranzado	UTP/STP

Tabla 21. Características conector LAN

A continuación, se especifica el tipo de señal por cada pin de la interfaz de comunicación RJ45.

Pin	Señal
Pin 1	TX+ (Transceive data +)
Pin 2	TX- (Transceive data -)
Pin 3	RX+ (Receive data +)
Pin 4	BDD- (Bi-directional data-)
Pin 5	BDD+ (Bi-directional data+)
Pin 6	RX- (Receive data -)
Pin 7	BDD+ (Bi-directional data+)
Pin 8	BDD- (Bi-directional data -)

Tabla 22. Señales conector RJ45



Figura 20. Cable LAN conector RJ-45 [12]

10.4.7 esquemático subsistema D

Para la realización del diagrama de flujo de la programación del código del banco de pruebas, hay que aclarar las 6 etapas importantes que componen el código:

- Inicio sesión de control remoto atreves de la interfaz de LAN.
- Configuración de los parámetros básicos del analizador de espectro y de medida.
- Adquisición de datos.
- Ejecución del algoritmo matemático para el cálculo del RIN.
- Grafica de la curva del RIN.
- Cierre de la sesión de control remoto.

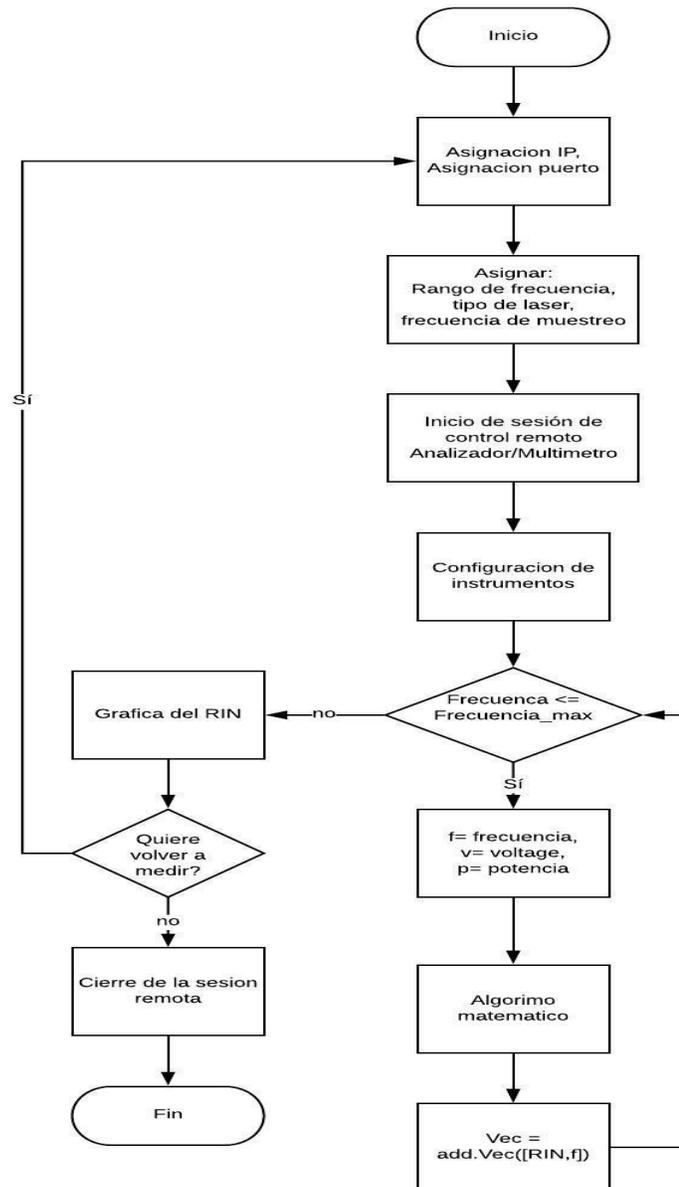


Figura 21. Diagrama de flujo subsistema D

10.4.8 Simulación subsistema D

Para el subsistema D, no se cuenta con un software que permita realizar una simulación de la medida del RIN de un láser basado de semiconductor.

10.4.9 Plan de pruebas subsistema D

Prueba	Descripción	Valor esperado	Valor real
1	Comunicación bilateral con multímetro	write/read	
2	Comunicación bilateral con analizador de espectro	write/read	
3	El módulo de control debe contar con interfaces de comunicación	RS-232 y LAN	
4	Verificación de algoritmo matemático	Valor RIN	Cálculo manual

Tabla 23. Plan de pruebas subsistema D

Este plan de pruebas tiene como objetivo verificar la comunicación bilateral entre el módulo de control y los instrumentos de medida, y el funcionamiento del algoritmo matemático, lo que permite al módulo de control realizar consultas a los instrumentos de medida, recibir respuesta a estas y desarrollar el cálculo del valor del RIN del láser basado de semiconductor.

10.5 Esquemático del sistema

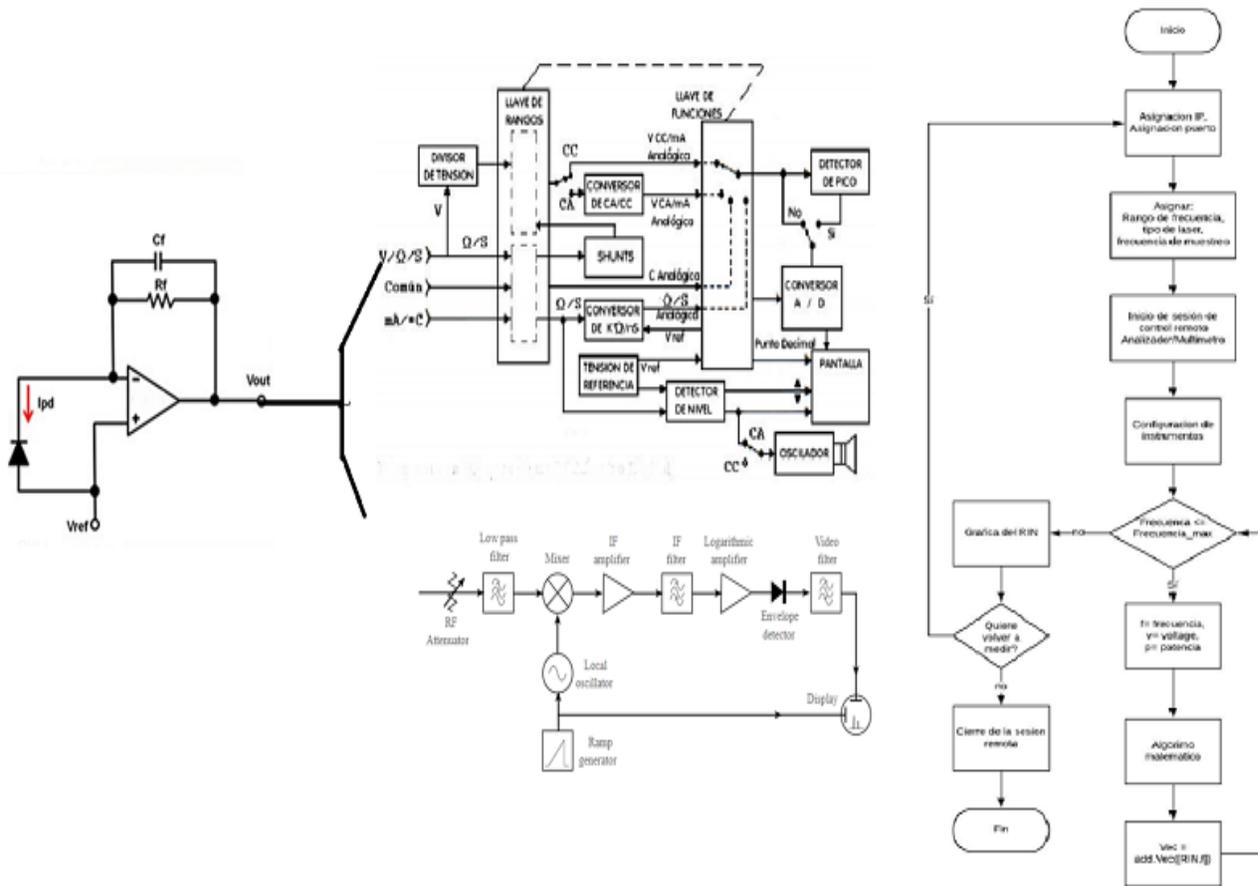


Figura 22. Esquemático sistema

10.6 Simulación del sistema

Debido a que el sistema cuenta con componentes de subsistemas que individualmente no se encuentran en espacios de software de simulación, el conjunto del sistema no es posible simular.

11 PLAN DE PRUEBAS DEL SISTEMA

11.1 Protocolo de pruebas

El plan de pruebas de integración tiene el propósito de asociar los subsistemas ya probados y verificar el funcionamiento en conjunto de cada uno de ellos, y cerciorar que el cumplimiento de los requerimientos no se ve afectado.

Esta prueba inicia con la verificación de los puntos de interconexión de los subsistemas, que los conectores del banco de pruebas estén correctamente puestos y ajustados. Luego se realiza una prueba de continuidad de la fibra óptica que se piensa utilizar.

Desde el módulo de control se procede a realizar comandos de consultas hacia el multímetro, el analizador de espectro, fuente de corriente y temperatura de forma individual, que permitan verificar la comunicación entre los instrumentos de medidas y el módulo de control, a su vez, de nuevo el módulo de control a través de comandos de consulta hacia el multímetro y el analizador de espectro de forma individual solicitará las variables de medida en cada instrumento, que permitan verificar la veracidad de los datos recolectados.

Se validará que el rango de frecuencia ingresado por el operador sea recibido y tomado en cuenta para la toma de datos. Por último, se verificará el botón de emergencia que permita parar la operación del banco de pruebas en medio de una operación, lo que permite la protección de los equipos en caso de una mala operación.

11.2 Planes de pruebas

En el plan de pruebas del sistema se evidencia la validación de los requerimientos del banco de medición del RIN implementado, es decir en el momento de hacer su primera medición luego de haber probado cada subsistema por aparte.

Plan de pruebas del sistema		Nombre de la prueba	Cantidad de personas para la prueba	Tiempo de duración estimado para la prueba
Requerimientos de entrada del sistema	-El ancho de banda de la señal de entrada (E1) debe estar dentro del rango de 300MHz a 15GHz.	Rango de frecuencias de la medición del RIN	2	5 minutos
	-La potencia mínima de la señal de entrada (E1) debe ser 0.5 mW	Validación de la potencia	2	5 minutos
Requerimientos de salida del sistema	-El sistema debe mostrar el valor de la medida del RIN a través de un gráfico de línea en dB /Hz con respecto a Hertz.	Valor del RIN resultado.	2	10 minutos
	El sistema debe tener un sistema operativo Windows, macOS o Linux.	Verificación del sistema operativo	1	3 minutos

	Los valores de la medida del RIN deben estar comprendidos dentro del rango de frecuencias seleccionado por el usuario.	Frecuencias de asignación del usuario	2	5 minutos
--	--	---------------------------------------	---	-----------

Tabla 24. Plan de pruebas 1 del sistema

Plan de pruebas del sistema		Instrumento de medición	Dato medido en el banco de medicación con el instrumento	% frente al requerimiento levantado
Requerimientos de entrada del sistema	-El ancho de banda de la señal de entrada (E1) debe estar dentro del rango de 300MHz a 15GHz.	Analizador de espectro óptico		
	-La potencia mínima de la señal de entrada (E1) debe ser 0.5 mW	Medidor de potencia espectral		
Requerimientos de salida del sistema	-El sistema debe mostrar el valor de la medida del RIN a través de un gráfico de línea en dB /Hz con respecto a Hertz.	Computador con algoritmo de programación.		
	El sistema debe tener un sistema operativo Windows, macOS o Linux.	Computador con el algoritmo de programación		
	Los valores de la medida del RIN deben estar comprendidos dentro del rango de frecuencias seleccionado por el usuario.	Analizador de espectro		

Tabla 25. Plan de pruebas 2 del sistema

12 DISEÑO INTERFAZ H/M

12.1 Interfaz SW

Scientific Python Development Environment, o también llamado spyder; es un ambiente de desarrollo para lenguaje de Python el cual esta liberado bajo la licencia de MIT y es útil para interactuar con librerías de Python tales como NumPy, SciPy, Pyvisa o matplotlib las cuales son de gran utilidad para análisis y adquisición de datos.



Figura 23. SPYDER

Este entorno nos permite acceder a todo tipo de lenguaje de Python desde el menú de opciones. Además, este editor es multilenguaje, la opción de finalización de código, división horizontal y vertical.



Figura 24. Barra de interacción SPYDER

La consola interactiva de este software permite tener un espacio de soporte con el fin de evaluar el código escrito desde la sección del editor. Esto nos permite determinar los errores presentado y la integración de figuras con matplotlib.

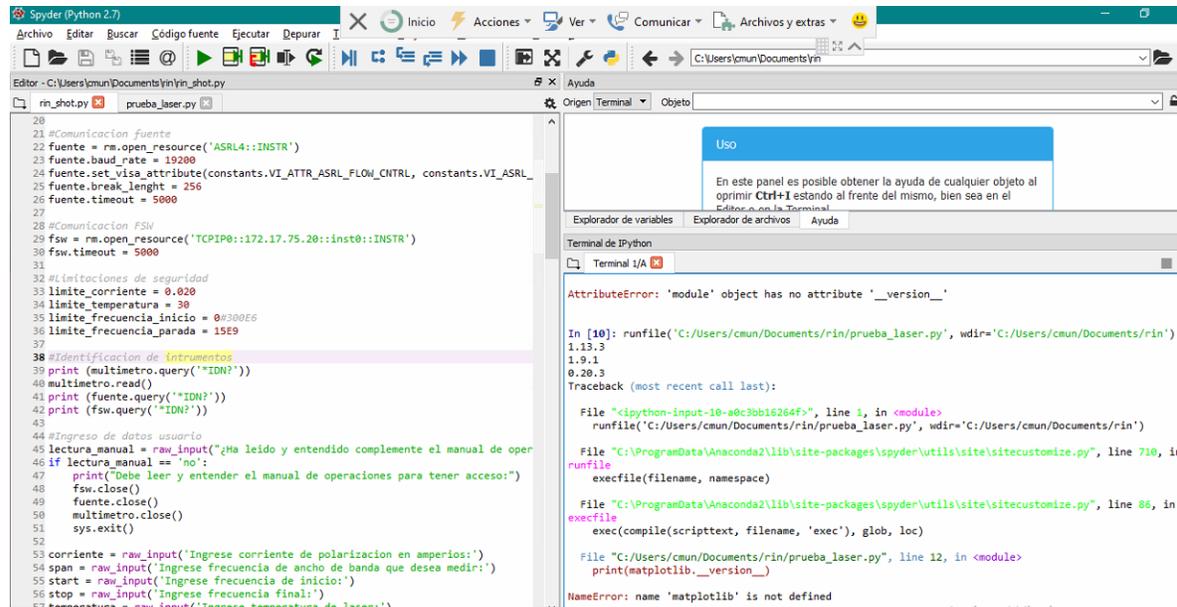


Figura 25. Interfaz SPYDER

Spyder además posee la opción de explorar variables expuestas en la línea de código y según nuestra solicitud, nos la expondrá en la consola interactiva. Por otra parte, SPYDER nos brinda una opción de explorador de archivos y podremos tener acceso al registro de historial.

12.2 Interfaz HW – Entre dispositivos

Para establecer la configuración del interfaz entre dispositivos se requiere implementar la configuración expuesta en el capítulo 13 con los debidos parámetros establecidos para luego establecer una comunicación remota por medio del módulo de control. El código utilizado para establecer la comunicación entre los dispositivos se desarrolla en el entorno SPYDER.

12.3 Interfaz HW – Usuario

El software SPYDER posee un complemento llamado anaconda, el cual permite visualizar cualquier tipo de código alojado en SPYDER de una manera independiente al sistema principal del software.

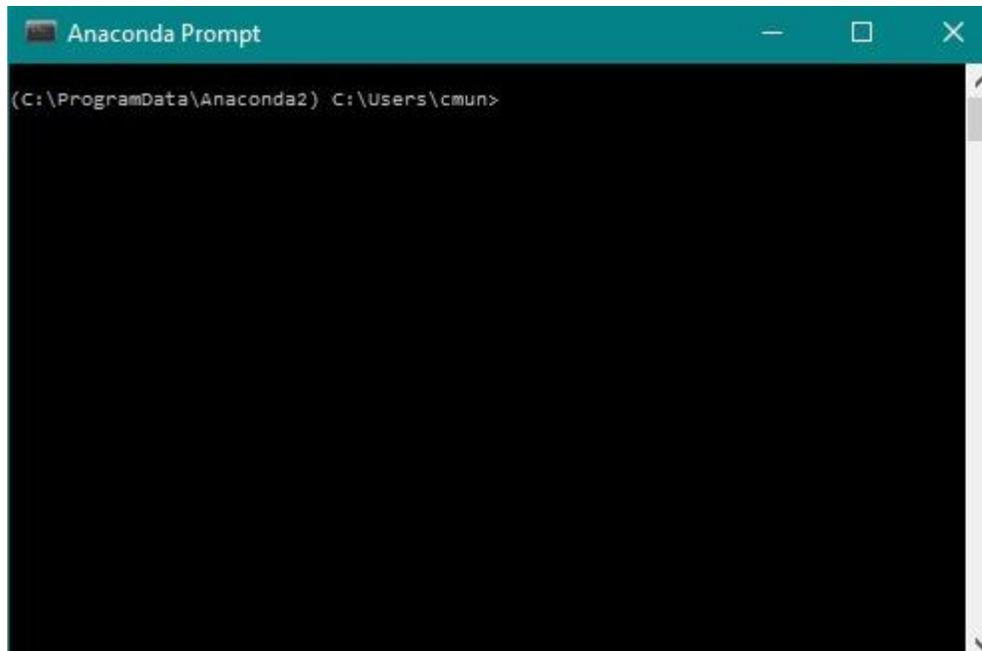


Figura 26. Interfaz de usuario terminal anaconda

Este terminal fue escogido como interfaz de usuario, el cual será útil para interactuar con los parámetros solicitados por el código sin que el usuario acceda al código fuente. Los parámetros establecidos para realizar la medición se explicarán a continuación.

```
(C:\ProgramData\Anaconda2) C:\Users\cmun\Documents\rin>python prueba_laser.py
Ingrese corriente de polarizacion en amperios:0.02
Ingrese frecuencia de ancho de banda que desea medir:15e9
Ingrese frecuencia de inicio:0
Ingrese frecuencia final:15e9
Ingrese temperatura de laser:20
```

Figura 27. Parámetros de medición del RIN interfaz anaconda

Para poder efectuar la curva del RIN, la terminal anaconda debe configurar el directorio en la carpeta donde se encuentre guardado el código fuente. Luego se ejecutará el programa el cual solicitará diligenciar la información evidenciada en la figura 27. Luego de haber ingresado todos los parámetros de información, el programa arrojará la siguiente curva según los datos seleccionados.

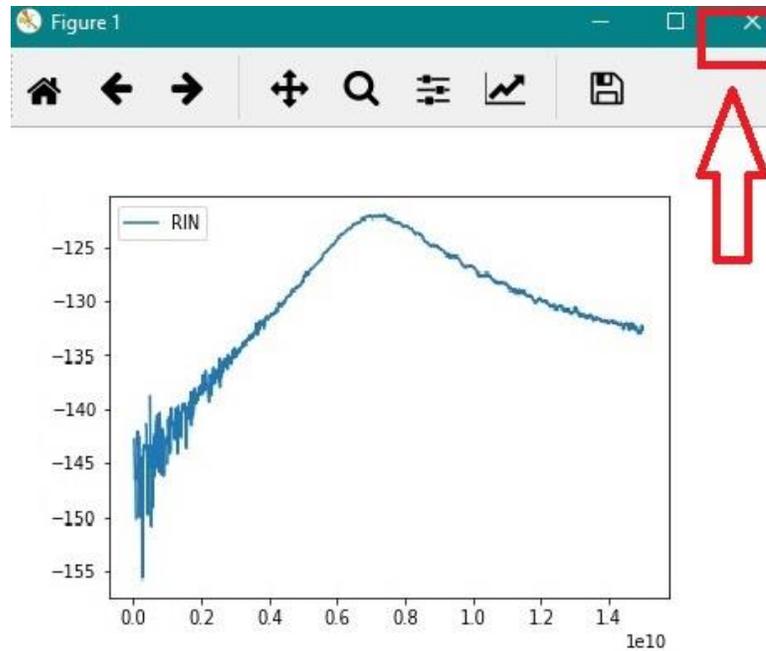


Figura 28. Curva del RIN IHM SPYDER

13 IMPLEMENTACIÓN

13.1 Subsistema A: Fotodetector

Medidor de Potencia Óptica P100d ThorLabs

La implementación inicial del subsistema A que corresponde a la adquisición de la señal eléctrica por medio del fotodetector se adelanta en un principio con el uso de un medidor de energía y potencia óptica PM100D, dispositivo el cual cuenta con un fotodetector y un elemento de medición de potencia óptica interno. Para esta implementación se realiza un montaje de la siguiente forma:

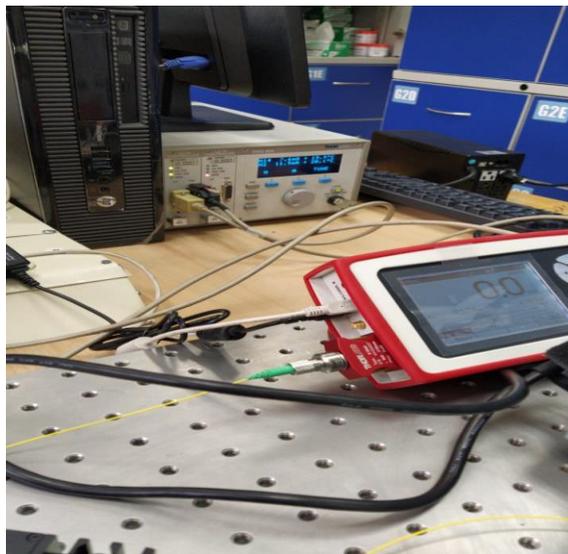


Figura 29. Implementación subsistema A

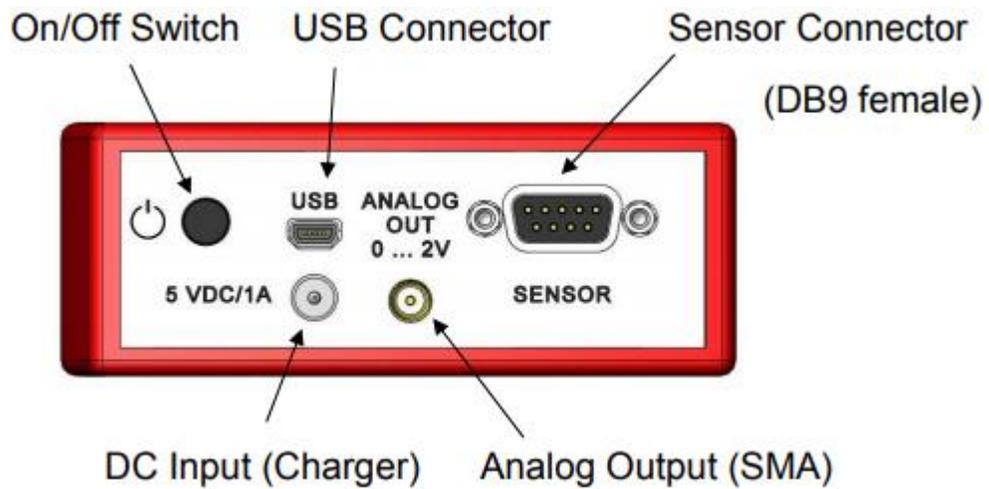


Figura 30. Lateral OPM [13]

Para la realización de la implementación del subsistema A con el uso del medidor de potencia óptica, se usa un cable USB para concretar la comunicación remota entre el subsistema A y el subsistema D, y un sensor de foto detección el cual recibe la señal emitida por el láser de prueba, para este componente no se requiere de una conexión a una fuente de alimentación debido a que el elemento cuenta con una batería interna

Uso	Imagen	Especificaciones	Puerto
Comunicación remota		<ul style="list-style-type: none"> Cable USB, tipo 'A' a 'mini-B' 	USB
Entrada de señal		<ul style="list-style-type: none"> DB9 macho Conector FC 	SENSOR

Tabla 26. Cables de PM100D

Una vez definidos los elementos de conexión necesarios para el componente, se procede con el montaje experimental, con la distribución de los componentes como se demuestra en la figura 31.

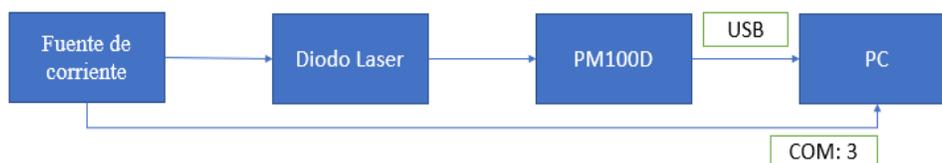


Figura 31. Diagrama de implementación subsistema A

En esta implementación se realizó la verificación de comunicación con el subsistema A en donde se tenía como objetivo recolectar los datos de medición del subsistema, para esto se configuro desde el módulo de control con el siguiente programa en lenguaje Python:

```
import pyvisa

from pyvisa import constants

rm = pyvisa.ResourceManager()

print(rm.list_resources())

# Parametros de comunicacion de fuente y OPM

p100 = rm.open_resource('USB0::0x1313::0x8078::P0023445::INSTR')

i_source = rm.open_resource('ASRL3::INSTR')

i_source.baud_rate = 19200

i_source.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL,
constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)

i_source.break_lenght = 256

i_source.timeout = 6000

#Identificacion de los equipos

print (p100.query('*IDN?'))

print (i_source.query('*IDN?'))

#Iniciacion de medicion del OPM

p100.write(':INITIATE:MEASUREMENT')

#Configuracion de los parametetrod de la fuente de corriente

i_source.write(':SLOT 1')

i_source.write(':ILD:SET 6E-3')

print(i_source.query(':ILD:SET?'))

i_source.write(':LASER ON')

print (i_source.query(':LASER?'))

#Toma del valor de la potencia medida por el OPM

count = 0

while count <= 150:

    print(p100.query(':MEASURE?'))

    count += 1

#Terminacion de la medida del OPM y laser apagado
```

```

i_source.write(':LASER OFF')
p100.write(':ABORT:MEASUREMENT')
print (i_source.query(':LASER?'))
p100.close()
i_source.close()

```

New Port 1414

Para el subsistema A se implementa otro componente que se plantea ser utilizado para la implementación del sistema final debido a que cuenta con puertos de salida DC y RF lo cual minimiza el número de componentes utilizados en el sistema final. El montaje realizado para esta implementación consiste de una fuente de corriente, un láser DFB, el fotodetector New Port 1414, un multímetro y un PC, las distribución física de los componentes se demuestra en la siguiente figura:



Figura 32. Setup New Port 1414

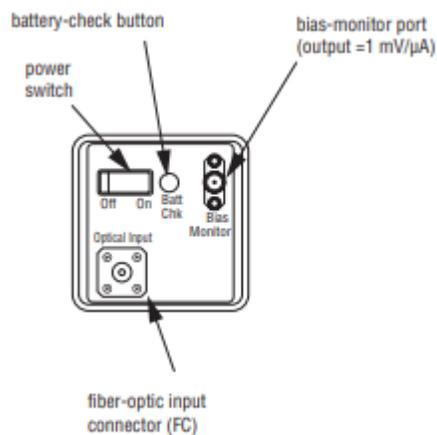


Figura 33. Frontal New Port 1414 [14]

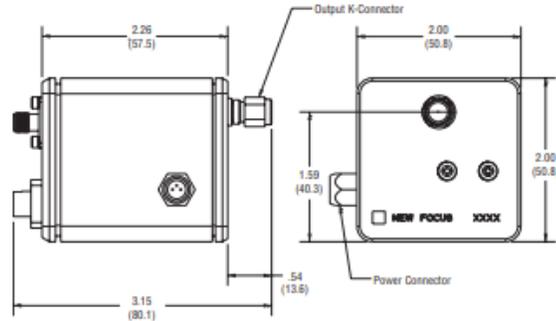


Figura 34. Lateral y trasero de New Port 1414 [14]

En la implantación de este componente se incluye el uso de un multímetro para verificar la salida eléctrica de la señal óptica recibida. Los cables necesarios para el montaje del New Por 1414 son los siguientes:

Uso	Imagen	Especificaciones	Puerto
Entrada señal óptica		<ul style="list-style-type: none"> • Conector FC/PC • Mono modo 	Entrada de fibra óptica
Salida señal DC		<ul style="list-style-type: none"> • Banana / SMA • Frecuencia limite 18 o 26.5 GHz 	Monitor de sesgo
Salida señal RF		<ul style="list-style-type: none"> • Macho 2.92 mm • RF • Hembra 2.92 mm 	Salida conector K

Tabla 27. Cables de New Port

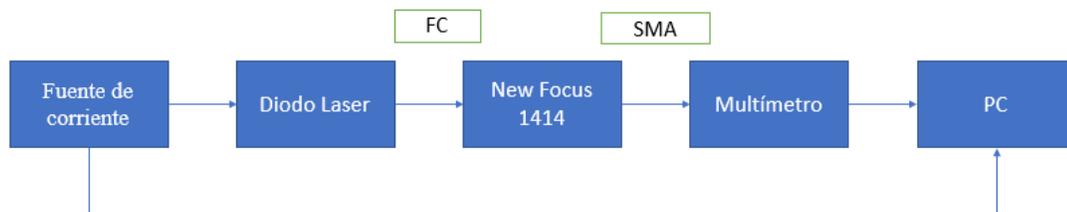


Figura 35. Diagrama de montaje New Port 1414

Con el montaje de la figura 35 se procede con la implementación de un código que establezca comunicación con los elementos que componen el diagrama y pueda medir la señal eléctrica emitida por el puerto de salida DC del fotodetector. EL siguiente código es utilizado:

```

import pyvisa
from pyvisa import constants
import time

rm = pyvisa.ResourceManager()

multimetro = rm.open_resource('ASRL3::INSTR')
multimetro.timeout = 5000

fuente = rm.open_resource('ASRL4::INSTR')
fuente.baud_rate = 19200
fuente.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL,
constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)
fuente.break_lenght = 256
fuente.timeout = 5000

print (fuente.query('*IDN?'))
print (multimetro.query('*IDN?'))
multimetro.read()

fuente.write(':SLOT 2')
fuente.write(':ILD:SET ' + str(float(corriente)))
fuente.write(':TEC ON')
fuente.write(':LASER ON')
time.sleep(5)

print(fuente.query(':ILD:SET?'))
print (fuente.query(':LASER?'))
print (fuente.query(':TEC?'))

corriente += 0.02
fuente.write(':ILD:SET '+str(float(corriente)))
time.sleep(5)

print(multimetro.query('VAL1?'))
multimetro.read()

fuente.write(':LASER OFF')
fuente.write(':TEC OFF')
print (fuente.query(':LASER?'))

multimetro.close()
fuente.close()

```

13.2 Subsistema B: multímetro

El subsistema B se implementa con el uso de una fuente de voltaje encendida conectada a las terminales de medición del multímetro FLUKE 8088A de la siguiente forma:

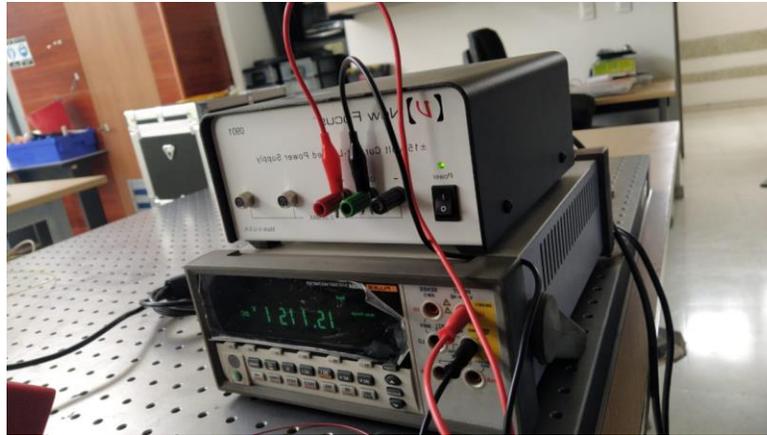


Figura 36. Setup Multímetro

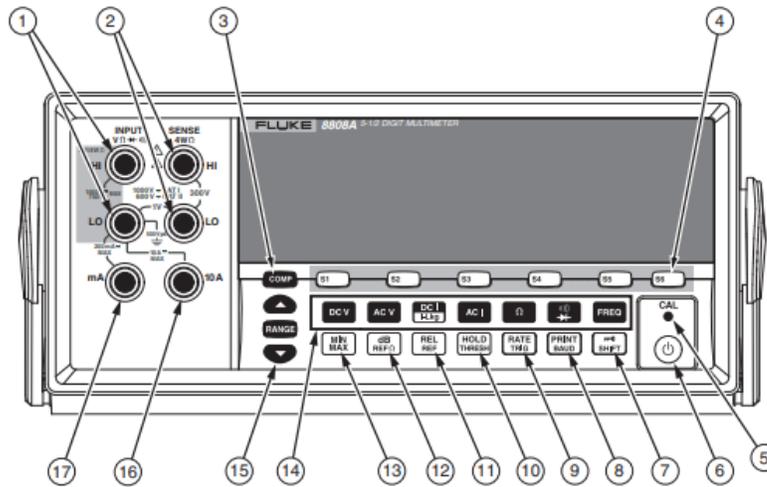


Figura 37. Frontal de FLUKE 8088A [10]

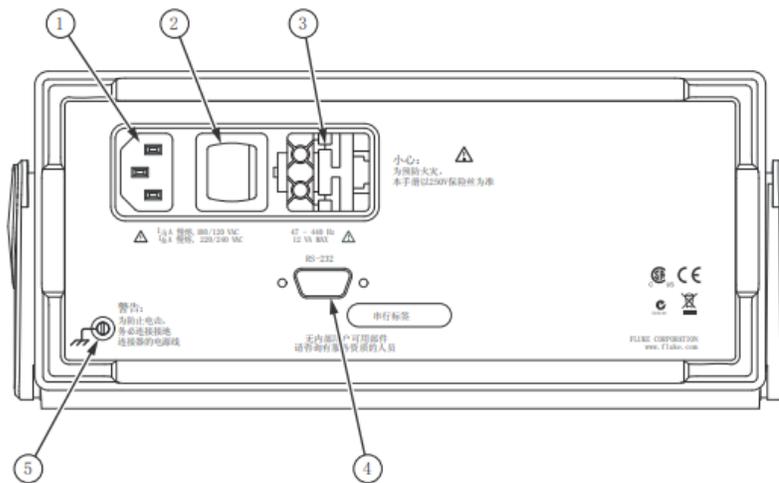


Figura 38. Trasero de FLUKE 8088A [10]

Se hace el uso de los puertos 1 de la figura 37, 1 y 4 de la figura 38, que permiten la alimentación, comunicación remota y la entrada de la señal DC para la medición de voltaje. Los cables utilizados para cada uno de los puertos especificados son los siguientes:

Uso	Imagen	Especificaciones	Puerto
Alimentación		<ul style="list-style-type: none"> • Modelo LC-1 • 120 V / 15 A 	Panel trasero 1
Comunicación remota		<ul style="list-style-type: none"> • 9 pines • Interfaz RS 232 / USB 	Panel trasero 4
Entrada de señal DC		<ul style="list-style-type: none"> • Banana / SMA • Frecuencia limite 18 o 26.5 GHz 	Panel frontal 1

Tabla 28. Cables de FLUKE 8088A

Una vez definidos los elementos de conexión necesarios para el multímetro Fluke 8088A, se procede con el montaje experimental, con la distribución de los componentes como se demuestra en la figura 39.



Figura 39. Diagrama de montaje Fluke 8088A

Con el montaje definido para para la prueba de comunicación del multímetro se realizó un código de programación en lenguaje Python implementando la librería Pyvisa la cual permite comunicación con distintos tipos de interfaces de comunicación incluida la comunicación serial. La configuración de parámetros de comunicación del multímetro se realiza de la siguiente forma:

```
import pyvisa

from pyvisa import constants

rm = pyvisa.ResourceManager()
```

```
print(rm.list_resources())  
#Parametros de multímetro  
multimetro = rm.open_resource('ASRL4::INSTR')  
multimetro.timeout = 5000
```

Después de haber configurado los parámetros de comunicación se continuo con la verificación de la comunicación por medio del comando SCPI *IDN?

```
#Identificacion del multímetro  
print (multimetro.query('*IDN?'))
```

Una vez verificada la comunicación con los instrumentos se procedió a la prueba de los siguientes comandos SCPI:

```
MEAS1?  
VAL1?  
FUNC1  
RANGE1?  
FORMAT?  
RATE?
```

13.3 Subsistema C: Analizador de espectro

Optical Spectrum Analyzer AQ6370D

La implementación del subsistema C se llevó a cabo utilizando una fuente de señal óptica (laser de diodo) como entrada, controlada por una fuente de corriente operada de forma remota. El montaje del subsistema es realizado de la siguiente forma:

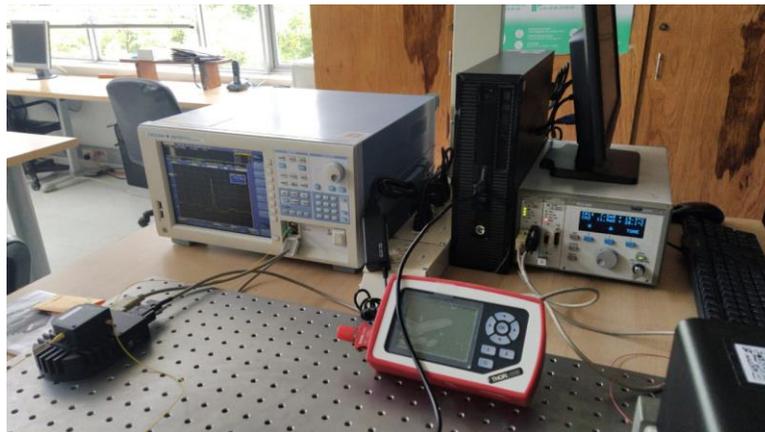


Figura 40. Setup analizador de espectro

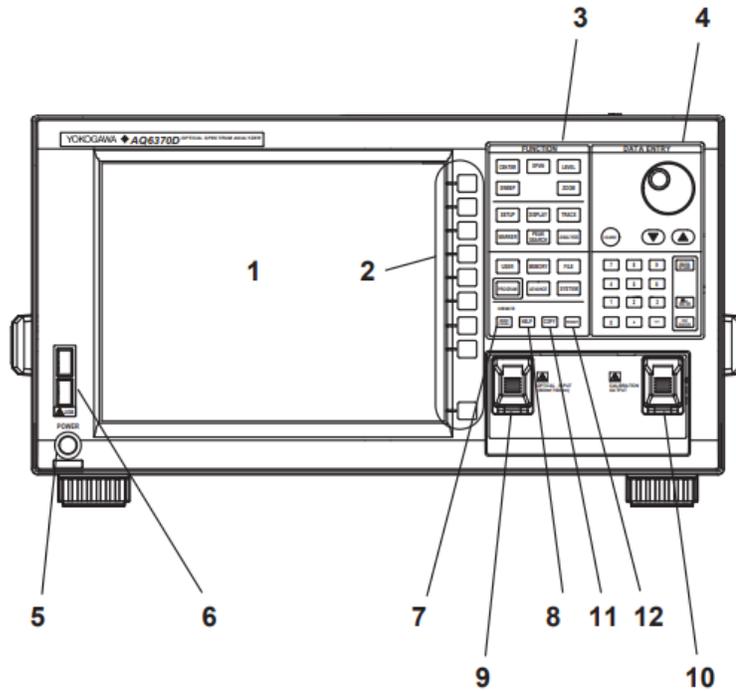


Figura 41. Frontal analizador de espectro [15]

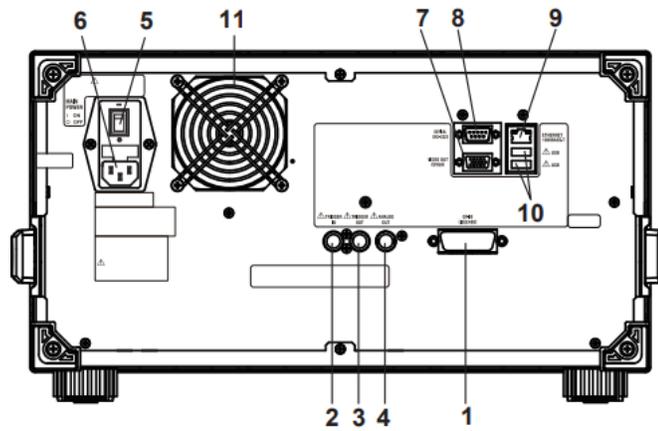


Figura 42. Trasero analizador de espectro [15]

El montaje para la implementación del subsistema C fueron necesarios los siguientes cables de alimentación, comunicación y entrada de la señal óptica:

Uso	Imagen	Especificaciones	Puerto
Alimentación		<ul style="list-style-type: none"> Alimentación AC 	Panel trasero 6
Comunicación remota		<ul style="list-style-type: none"> 9 pines Interfaz RS 232 / USB 	Panel trasero 8
Entrada de señal RF		<ul style="list-style-type: none"> Macho 2.92 mm RF Hembra 2.92 mm 	Panel frontal 9

Tabla 29. Cables de analizador de espectro

Identificado los cables necesarios para el montaje del subsistema C, los componentes involucrado son distribuidos como se muestra en la figura 43.

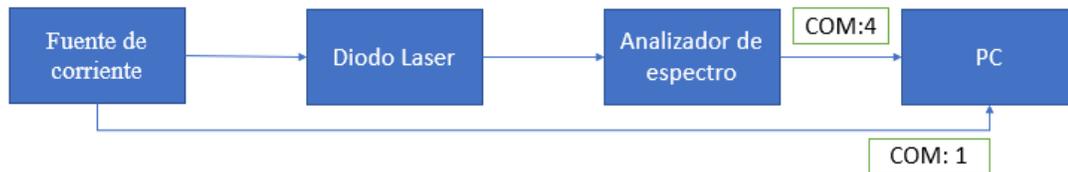


Figura 43. Diagrama montaje Analizador de espectro

Una vez realizado el montaje se procede con la parametrización de la comunicación tanto del analizador de espectro como de la fuente de corriente de la siguiente forma:

```
#Parametros de OSA AQ6370D
```

```
osa = rm.open_resource('ASRL3::INSTR')
```

```
# Parametros de fuente
```

```
i_source = rm.open_resource('ASRL1::INSTR')
```

```
i_source.baud_rate = 19200
```

```
i_source.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL,
constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)
```

```
i_source.break_lenght = 256
```

```
i_source.timeout = 60000
```

Después de haber configurado los parámetros de comunicación se continuo con la verificación de la comunicación por medio del comando SCPI *IDN?

#Identificacion del Analizador de espectro

```
print (osa.query('*IDN?'))
```

```
print (i_source.query('*IDN?'))
```

Una vez verificada la comunicación con los instrumentos se procedió a la prueba de los siguientes comandos SCPI:

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:INTEGRAL:IRANGE?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:INTEGRAL:RESULT?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:PDENSITY:BANDWIDTH?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:PDENSITY:RESULT?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:PRESET
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MAXIMUM
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MAXIMUM:LEFT
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MAXIMUM:RIGHT
```

```
CALCULATE:AMARKER:MAXIMUM:NEXT
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MINIMUM
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MINIMUM:LEFT
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MINIMUM:NEXT
```

```
:CALCULATE:AMARKER:MINIMUM:RIGHT
```

```
:CALCULATE:ARESOLUTION?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:INTEGRAL:STATE 0
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:INTEGRAL:STATE?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:PDENSITY 0
```

```
:CALCULATE:AMARKER:FUNCTION:PDENSITY?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:STATE 1
```

```
:CALCULATE:AMARKER:STATE?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:TRACE TRA
```

```
:CALCULATE:AMARKER:TRACE?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:X?
```

```
:CALCULATE:AMARKER:Y?
```

```
:CALCULATE:CATEGORY?
```

```
:CALCULATE
```

:CALCULATE:DATA?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:INTERVAL 1
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:INTERVAL?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:ITEM 0
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:ITEM?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:LMODE 2
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:LMODE?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:MEMORY INTERNAL
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:MEMORY?'
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:MTHRESH 1E-10
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:MTHRESH?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:PDETECT:ATHRESH -60
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:PDETECT:ATHRESH?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:PDETECT:TTYPE ABSOLUTE
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:PDETECT:TTYPE?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:PDETECT:RTHRESH 20
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:PDETECT:RTHRESH?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:TDURATION 10
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:TDURATION?
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:TLOGGING 0
:APPLICATION:DLOGGING:LPARAMETER:TLOGGING?
:APPLICATION:DLOGGING:STATE 0
:APPLICATION:DLOGGING:STATE?
SLOT 1
:ILD:SET 6E-3
:ILD:SET?
:LASER ON
:LASER?
:LASER OFF

Analizador de espectro FSW 43

Para la implementación del subsistema C también fue utilizado el analizador de espectro FSW 43. El planteamiento llevado a cabo para el analizador de espectro óptico es implementado de igual forma para este equipo.



Figura 44. Panel frontal de analizador de espectro [16]

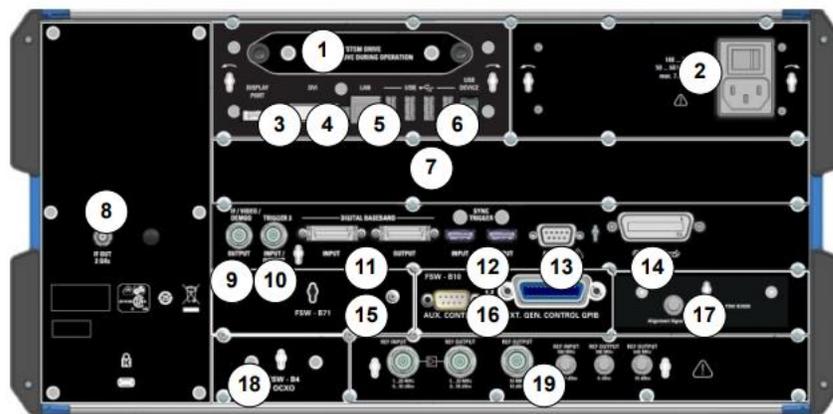


Figura 45. Panel trasero de analizador de espectro [16]

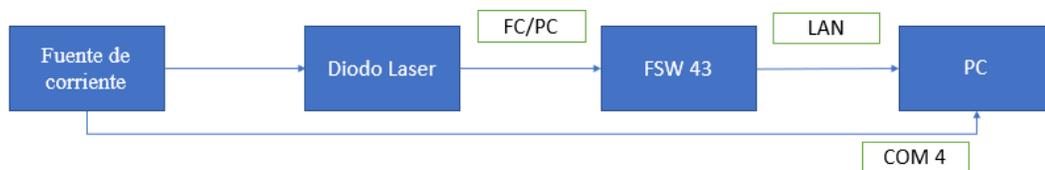


Figura 46. Diagrama de montaje FSW 43

A diferencia del analizador de espectro óptico para la implementación del analizador de espectro y señales FSW 43 la comunicación con el módulo de control, se plantea hacerla a través del protocolo de comunicación TCP/IP, razón por la cual se utiliza un cable LAN con terminales rj45 para la comunicación remota.

Uso	Imagen	Especificaciones	Puerto
Alimentación		<ul style="list-style-type: none"> Alimentación AC 	Panel trasero 2
Comunicación remota		<ul style="list-style-type: none"> Conector RJ45 	Panel trasero 5
Entrada de señal RF		<ul style="list-style-type: none"> Macho 2.92 mm RF Hembra 2.92 mm 	Panel frontal 16

Tabla 30. Elementos de conexión analizador de espectro

El control remoto para este analizador espectro es muy similar al AQ6370D ya que los dos dispositivos son controlados a través de comandos SCPI que son convalidados para los dos casos. En el siguiente programa se configura los parámetros de medición para el analizador y se especifican comandos para recolectar los datos de la gráfica de medición de la señal RF captada.

```
import pyvisa
from pyvisa import constants
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import time

rm = pyvisa.ResourceManager()

fuente = rm.open_resource('ASRL4::INSTR')
fuente.baud_rate = 19200
fuente.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL,
constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)
fuente.break_lenght = 256
fuente.timeout = 5000

fsw = rm.open_resource('TCPIP0::172.17.75.20::inst0::INSTR')
fsw.timeout = 5000

print (fuente.query('*IDN?'))
print (fsw.query('*IDN?'))

corriente = 0.02

#Configuracion frecuencia
```

```

fsw.write('FREQ:SPAN 1GHz')
fsw.write('FREQ:START 2GHz')
fsw.write('FREQ:STOP 3GHz')

#Configuracion RBW VBW
fsw.write('BAND:AUTO OFF')
fsw.write('BAND 1kHz')
fsw.write('BAND:VID 1kHz')

fsw.write('SENS:SWE:COUNT 10 ')
fsw.write('SENS:SWE:TIME 400ms ')

print (fsw.query('FREQ:CENT?'))
print (fsw.query('FREQ:SPAN?'))
print (fsw.query('BAND?'))
print (fsw.query('BAND:TYPE?'))
print (fsw.query('SENS:SWE:COUN?'))
print (fsw.query('SENS:SWE:TIME?'))

fuente.write(':SLOT 2')
fuente.write(':ILD:SET ' + str(float(corriente)))
fuente.write(':TEC ON')
fuente.write(':LASER ON')
time.sleep(2)
print (fuente.query(':LASER?'))

fsw.write(':INIT;WAI*')

time.sleep(60)

potencia = fsw.query('TRAC:DATA? TRACE1')
frecuencia = fsw.query('TRAC:DATA:X? TRACE1')

fuente.write(':LASER OFF')
fuente.write(':TEC OFF')
print (fuente.query(':LASER?'))

lista_potencia = potencia.split(',')
lista_frecuencia = frecuencia.split(',')
datos_string = np.array([lista_potencia,lista_frecuencia])
datos_float = datos_string.astype(float)

titulo_excel = {'Potencia': datos_float[0,:], 'Frecuencia': datos_float[1,:]}
df = pd.DataFrame(titulo_excel, columns = ['Potencia','Frecuencia'])
df.to_excel('fsw_lecturas.xlsx')

fsw.close()
fuente.close()

```

13.4 Subsistema D: Modulo de Control

La implementación del subsistema D se refleja validada en la implementación de los subsistemas A, B y C, al ser el punto de convergencia de todas las señales medidas y donde por medio del lenguaje de programación Python implementando la librería Pyvisa se logra realizar la comunicación, recolección de datos y configuración de los subsistemas.

13.5 Implementación del Sistema

La implementación del sistema consta del agrupamiento y conexión de los subsistemas A, B, C y D ya mencionados, aplicando un script de programación basado en Python que posibilite el establecimiento de comunicación de los subsistemas y componentes utilizados, el ajuste de parámetros de medida, la adquisición y procesamiento de datos de medición, y la ejecución de un algoritmo matemático para la medición del RIN. A continuación, se enumera e identifican los componentes empleados:

ítem	Descripción	Referencia
1	Fuente de alimentación del laser	Thorlabs PRO8000
2	Montaje de laser Pigtailed	Thorlabs LDM9LP
3	Laser DFB	LP1550-SAD2
4	Fotodetector	New Port 1414
5	Multímetro	Fluke 8808A
6	Analizador de espectro	Rohde&Schwarz FSW-43
7	Computador	HP ProDesk 400 G1
8	Entorno de desarrollo integrado	SPYDER (Python 2.7)

Tabla 31. Componentes del sistema

Los cables necesarios para la alimentación y comunicación de los instrumentos utilizados son los siguientes:

ítem	Nombre	Descripción	Cantidad
1	Cable de alimentación	Cables de alimentación AC 120v, 60Hz	4
2	DB15/DB9	Cable serial DB 15 macho/ DB9 hembra	1
3	DB9/DB9	Cable serial DB9 macho/ DB9 macho	1
4	Cable LAN	Cable LAN RJ45	1
5	SMA/SMA	Cable SMA conector macho 2.92mm/hembra 2.92mm	1
6	USB/DB9-RS232	Cable serial RS232/USB	2
7	Banana/SMA	Cable conectores banana/SMA	1

Tabla 32. Inventario de cables

Con la identificación de los dispositivos del sistema y los cables necesarios, se continua con la ubicación y conexión de los elementos. A continuación, se define el diagrama de conexión de los elementos.

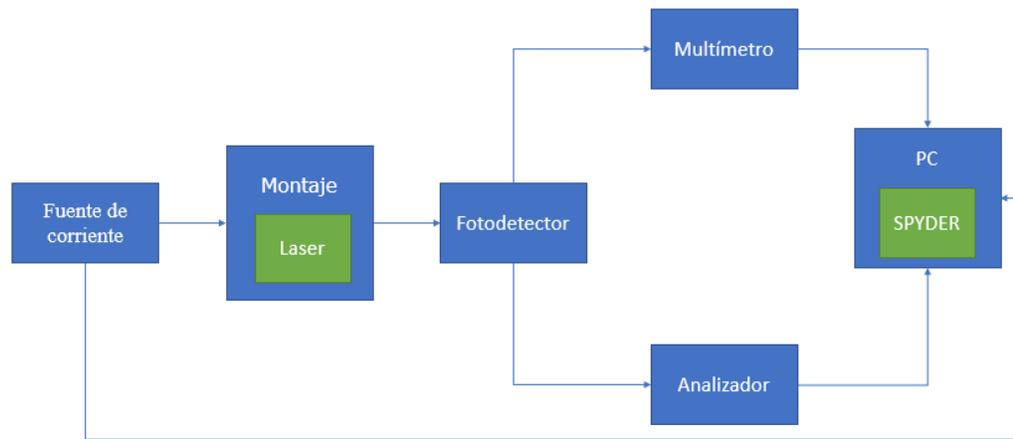


Figura 47. Diagrama del sistema global

Se ilustra un diagrama detallado de conexión que permite al usuario una visualización de la implementación más sencilla.

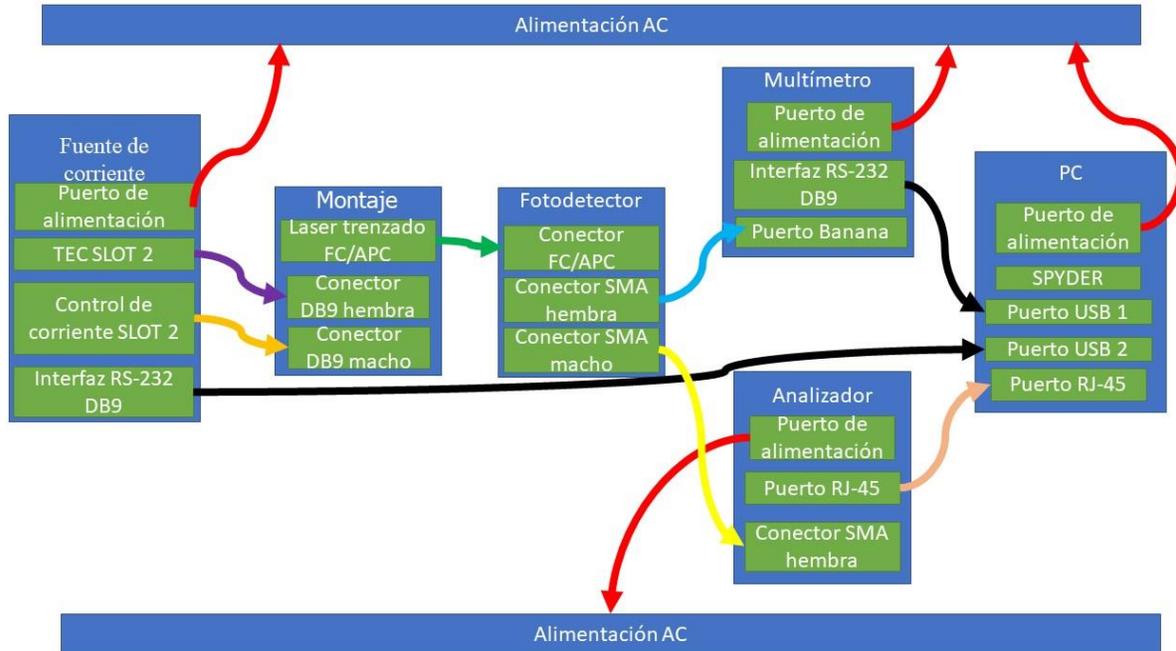


Figura 48. Diagrama del sistema detallado

ítem	Nombre	Color
1	Cable de alimentación	
2	Cable DB15/DB9	
3	Cable DB9/DB9	
4	Cable LAN	
5	Cable SMA/SMA	
6	Cable USB/DB9-RS232	
7	Cable Banana/SMA	

Tabla 33. Leyenda de Figura 48

Con la definición de los componentes necesarios para la implementación del sistema y las conexiones, se procede con el montaje físico del sistema. A continuación, se ilustra el montaje físico:



Figura 49. Montaje del banco de medidas

Se continua con la implementación del código de programación que permite la automatización del montaje físico mostrado en la figura 49. El script empleado está compuesto por las siguientes etapas:

Establecimiento de comunicación con los equipos de fuente de corriente, analizador de espectro y multímetro

- Definición de constantes de acuerdo con la hoja de datos de los equipos utilizados
- Establecimiento de límites de operación
- Recolección de parámetro de medida ingresados por el usuario
- Verificación de los parámetros ingresados por el usuario
- Configuración de parámetros de medida de los instrumentos
- Recolección de datos de medida
- Ejecución del algoritmo matemático
- Ilustración de grafica del RIN
- Almacenamiento de datos
- Cierre de sesiones de comunicación con los instrumentos
- Cálculo de algoritmo matemático

Para el cálculo del algoritmo matemático se comienza con la definición de RIN que consiste en la descripción de fluctuaciones de potencia óptica del láser, que para el caso del tipo DFB el cual es utilizado para este montaje, este ruido proviene principalmente por las fluctuaciones de frecuencia y fase óptica causadas por la emisión espontánea[17]. Es calculado como la relación del ruido de intensidad óptica cuadrática media y la potencia óptica promedio al cuadrado:

$$RIN = \frac{\langle \Delta P^2 \rangle}{P^2} \text{ dB/Hz}$$

Ecuación 4

$\langle \Delta P^2 \rangle$ = Intensidad óptica media cuadrática

P^2 = Potencia óptica promedio

$$\langle \Delta P^2 \rangle = N_{elec}$$

Ecuación 5

$$P^2 = P_{AVG}(elec)$$

Ecuación 6

N_{elec} = Potencia de densidad espectral medida en el fotodetector

$P_{AVG}(elec)$ = Potencia promedio DC medida en el fotodetector

Par el caso de la potencia de densidad espectral medida en el fotodetector esta es constituida por las contribuciones de diferentes ruidos generados por el sistema como lo son: El ruido de intensidad del láser bajo prueba, ruido térmico del sistema y el ruido de disparo. Con esto definido la potencia de densidad espectral medida en el fotodetector es la suma de los tres ruidos ya mencionados:

$$N_T(f) = N_L(f) + N_q + N_{th}(f) \text{ W/Hz}$$

Ecuación 7

N_L = Potencia de intensidad de ruido del laser

N_{th} = Potencia de ruido térmico

N_q = Potencia de ruido de disparo

Para sistemas que presentan cierta temperatura el ruido térmico es constante y puede ser deducido de la potencia de densidad espectral medida cuando el sistema se encuentra apagado. En el caso del ruido de disparo este varia respecto a la potencia promedio medida por el multímetro:

$$N_q = 2 * q * I_{dc} * R_L$$

Ecuación 8

I_{dc} = Corriente DC medida del fotodetector

R_L = Resistencia de carga

q = Carga del electrón

El RIN se determina con la siguiente ecuación:

$$RIN_{sistema} = \frac{N_L}{P_{AVG}} + \frac{N_q}{P_{AVG}} + \frac{N_{th}}{P_{AVG}}$$

Ecuación 9

$$RIN_{Laser} = \frac{N_T}{P_{AVG}} - \frac{N_q}{P_{AVG}} - \frac{N_{th}}{P_{AVG}}$$

Ecuación 10

$$p_{AVG} = I_{dc}^2 * R_L = \left(\frac{V_{dc}}{G_{DC}}\right)^2 * R_L$$

Ecuación 11

Los datos recolectados por el banco de medida se ajustan a las variables de la ecuación del RIN de la siguiente forma:

N_T = Potencia medida en dB del banco experimental con el láser encendido, medida desde el analizador de espectro

N_{th} = Potencia medida en dB del banco experimental con el láser apagado, medida desde el analizador de espectro

V_{dc} = Voltaje medido por el multímetro

G_{dc} = Ganancia de transimpedancia del puerto "Bias-monitor" del fotodetector

El script del algoritmo matemático implementado resulta así:

```
#Calculo de parametros del sistema encendido
# Ruido total del sistema
potencia_sys_fsw_watts = (10**((datos_sys_fsw_float[0,:]/10))*0.001
delta_sys = (potencia_sys_fsw_watts/rbw) # ruido total del sistema
#Ruido de disparo
n_shot = r_load*2*q*(voltaje_sys_float/gdc)
#Potencia eléctrica promedio
pot_elec_prom = r_load*(voltaje_sys_float/gdc)**2
#Cálculo del RIN del laser
rin_laser_watts = ((delta_sys-delta_setup)-(n_shot))/(pot_elec_prom) # RIN en unidades de watts
rin_laser_db = 10.*np.log10(rin_laser_watts) # RIN en unidades de DB/Hz
rin = np.array([rin_laser_db, datos_sys_fsw_float[1,:]]) # Arreglo de 2D con RIN vs frecuencia
Para ver el código completo revisar el manual de operación en el anexo.
```

14 PRUEBAS DEL SISTEMA

A continuación, se desarrollan las pruebas establecidas en el capítulo 5.

14.1 Prueba 1: funcionalidad de los sistemas de medición

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Revisión de conexiones alámbricas	Multímetro	Los puntos de conexión (input/output) deben estar fijos y ajustados	1	10 minutos	SE CUMPLE	
	Analizador de espectro	Los puntos de conexión (input/output) deben estar fijos y ajustados	1	10 minutos	SE CUMPLE	
Los equipos estar en el mismo espacio habitacional	Multímetro	Se ubica en el mismo espacio habitacional que el resto de los equipos del sistema	1	5 minutos	SE CUMPLE	
	Analizador de espectro	Se ubica en el mismo espacio habitacional que el resto de los equipos del sistema	1	5 minutos	SE CUMPLE	
El sistema necesitara voltaje AC para su funcionamiento	Multímetro	Led de encendido ON	1	5 minutos	SE CUMPLE	
	Analizador de espectro	Led de encendido ON	1	5 minutos	SE CUMPLE	

Tabla 34. Prueba 1

EVIDENCIAS

Se establece una correcta alimentación, configuración y encendido de los aparatos de medida asegurando la comunicación con el subsistema D (subsistema de control y adquisición). En el capítulo 13 se evidencian las correspondientes alimentaciones e interconexiones que necesita cada subsistema.

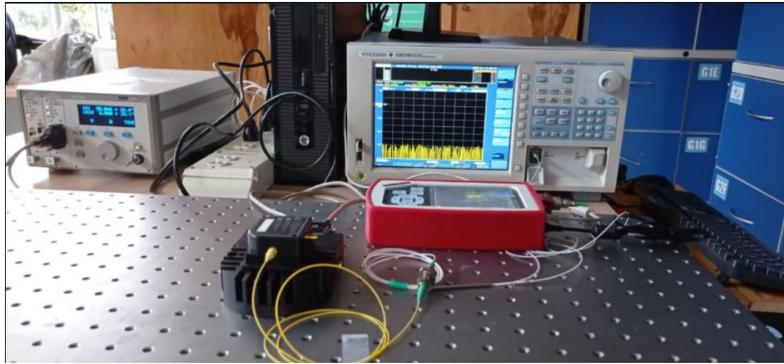


Figura 50. Verificación de conexiones fuente y osa

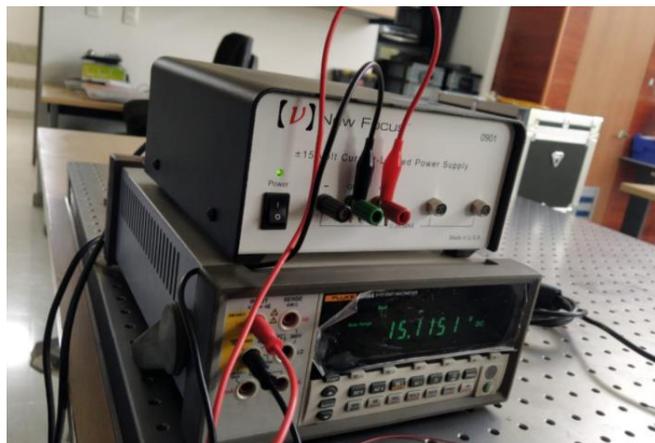


Figura 51. Verificación de conexión foto detector y multímetro



Figura 52. Verificación de conexiones laser

Requerimientos por cumplir:

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Realizar código de programación que establezca comunicación entre los instrumentos de medida y el módulo de control (Get/Post)	Multímetro	Comunicación establecida	1	15 minutos	SE CUMPLE	
	Analizador de espectro	Comunicación establecida	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Capturar variables de medición	Multímetro	Captura de variable float	1	15 minutos	SE CUMPLE	
	Analizador de espectro	Captura de variable float	1	15 minutos	SE CUMPLE	

Tabla 35. Cumplir requerimientos

14.2 Prueba 2.

Funcionalidad de los componentes del sistema:

- Laser de semiconductor
- Fuente de corriente
- Foto detector
- Módulo de control

En la siguiente tabla se evidencian las pruebas realizada:

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Verificar tipo de laser de semiconductor según su hoja de datos	Laser de semiconductor	DFB	1	10 minutos	SE CUMPLE	Solo se realizaron pruebas con láser DFB

Gráfico de línea de potencia corriente de polarización	Laser de semiconductor	Gráfico de línea	1	1 hora	SE CUMPLE	SE REALIZARON 5 PRUEBAS
Asignar valor de corriente a la fuente de corriente desde el módulo de control	Fuente de corriente	Valor de corriente en la fuente de corriente igual al valor asignado	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Asignar valor de temperatura a la fuente de corriente desde el módulo de control	Fuente de corriente	Valor de temperatura en la fuente de corriente igual al valor asignado	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Capturar desde el módulo de control el valor de la corriente de la fuente de corriente	Fuente de corriente	Valor capturado en módulo de control igual al valor indicado en la fuente de corriente	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Capturar desde el módulo de control el valor de la temperatura de la fuente de corriente	Fuente de corriente	Valor capturado en módulo de control igual al valor indicado en la fuente de corriente	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Verificar el control de corriente de polarización	Fuente de corriente	Debe mantener estable la corriente de polarización asignada durante 15 minutos	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Verificar el control de temperatura	Fuente de corriente	Debe mantener estable la temperatura asignada durante 15 minutos	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Verificar el valor medido del RIN a través	Módulo de control	El valor de RIN calculado por el módulo	1	2 horas	SE CUMPLE	

del algoritmo matemático programado		de control debe ser igual al calculado manualmente				
-------------------------------------	--	--	--	--	--	--

Tabla 36. Comprobación requerimientos prueba 2

EVIDENCIAS

Para las pruebas realizadas en el banco de media se realizaron únicamente con láser DFB, las razones se evidencian en el capítulo de ajustes.



Figura 53. Conexión láser DFB

Para realizar el gráfico de línea de potencia por corriente de polarización se realizó una caracterización de la corriente versus la potencia para ello se utilizó el siguiente código:

```
import pyvisa
from pyvisa import constants
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import time

rm = pyvisa.ResourceManager()
corrientes_medidas = []
potencias_medidas = []

p100 = rm.open_resource('USB0::0x1313::0x8078::P0023445::INSTR')
fuente = rm.open_resource('ASRL4::INSTR')
fuente.baud_rate = 19200
fuente.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL,
constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)
fuente.break_lenght = 256
fuente.timeout = 5000
```

```

print (fuente.query('*IDN?'))

p100.write(':INITIATE:MEASUREMENT')

fuente.write(':SLOT 2')
fuente.write(':TEC ON')
print (fuente.query(':TEC?'))
fuente.write(':LASER ON')
print (fuente.query(':LASER?'))
time.sleep(2)

count = 0
while count <= 0.02:
    count += 0.001
    corrientes_medidas.append(count)
    fuente.write(':ILD:SET '+str(float(count)))
    time.sleep(5)
    potencias_medidas.append(p100.query(':MEASURE?'))
    print(count)

fuente.write(':LASER OFF')
fuente.write(':TEC OFF')
print (fuente.query(':LASER?'))
p100.write(':ABORT:MEASUREMENT')

corrientes_medidas_string = np.array(corrientes_medidas)
corrientes_medidas_float = corrientes_medidas_string.astype(float)
potencias_medidas_string = np.array(potencias_medidas)
potencias_medidas_float = potencias_medidas_string.astype(float)

potencias_medidas_float *= 5
print(corrientes_medidas_float)
print(potencias_medidas_float)

plt.figure()
plt.plot(corrientes_medidas_float, potencias_medidas_float, label = 'Corrientes')
plt.legend(loc='upper left')
plt.show()

titulo_excel = {'Potencia': potencias_medidas_float, 'Corrientes':
corrientes_medidas_float}
df = pd.DataFrame(titulo_excel, columns = ['Potencia','Corrientes'])
df.to_excel('curva_LI10.xlsx')

fuente.close()
p100.close()

```

Del anterior código se concreta la caracterización de la corriente solicitada por el usuario y como resultado se evidencia la potencia emitida por la medida, y con esto la gráfica de corriente vs potencia y una lista emitida en formato Excel con la misma información. Para la anterior prueba se establece que el usuario puede realizar una medida de hasta máximo 20 ma de alimentación.

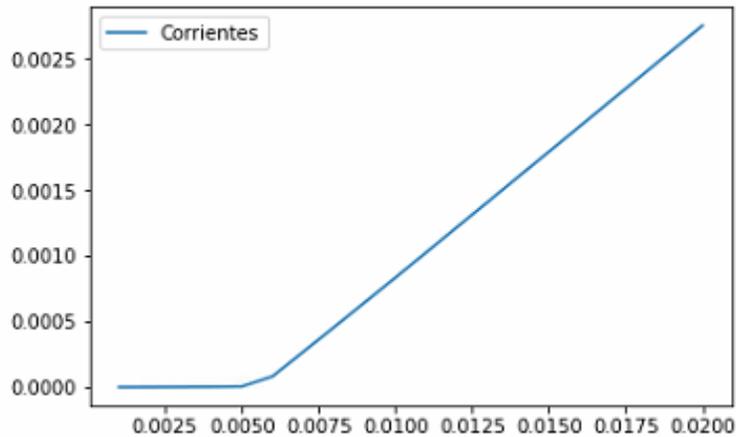


Figura 54. Grafica de corriente vs potencia

Para verificar el control de corriente de polarización se emiten las corrientes de polarización y su respectiva potencia en la siguiente lista de Excel:

	Potencia	Corrientes
0	1.48E-07	0.001
1	6.22E-07	0.002
2	1.41E-06	0.003
3	2.69E-06	0.004
4	4.78E-06	0.005
5	6.99E-05	0.006
6	0.000252	0.007
7	0.000437	0.008
8	0.000624	0.009
9	0.000813	0.01
10	0.001004	0.011
11	0.001197	0.012
12	0.00139	0.013
13	0.001584	0.014
14	0.001777	0.015
15	0.00197	0.016
16	0.002163	0.017
17	0.002355	0.018
18	0.002547	0.019
19	0.002737	0.02

Figura 55. Prueba 1 caracterización corriente vs potencia

	Potencia	Corrientes
0	1.47E-07	0.001
1	6.26E-07	0.002
2	1.42E-06	0.003
3	2.71E-06	0.004
4	4.83E-06	0.005
5	7.4E-05	0.006
6	0.000256	0.007
7	0.00044	0.008
8	0.000626	0.009
9	0.000813	0.01
10	0.001003	0.011
11	0.001194	0.012
12	0.001387	0.013
13	0.001581	0.014
14	0.001775	0.015
15	0.001968	0.016
16	0.002161	0.017
17	0.002354	0.018
18	0.002546	0.019
19	0.002737	0.02

Figura 56. Prueba 2 caracterización corriente vs potencia

	Potencia	Corrientes
0	1.42E-07	0.001
1	6.08E-07	0.002
2	1.37E-06	0.003
3	2.61E-06	0.004
4	4.61E-06	0.005
5	5.95E-05	0.006
6	0.000244	0.007
7	0.000431	0.008
8	0.000621	0.009
9	0.000812	0.01
10	0.001004	0.011
11	0.001197	0.012
12	0.00139	0.013
13	0.001583	0.014
14	0.001776	0.015
15	0.001967	0.016
16	0.00216	0.017
17	0.002352	0.018
18	0.002544	0.019
19	0.002737	0.02

Figura 57. Prueba 3 caracterización corriente vs potencia

14.3 Prueba 3. Funcionalidad del usuario y del sistema

El sistema debe medir el valor del RIN del láser de semiconductor por cada frecuencia dada y el usuario del sistema debe configurar la totalidad del sistema para obtener una medida confiable.

Tareas por realizar	Equipos	Datos de salida esperados	N° de personas para la prueba	Duración de la prueba	Cumple a satisfacción la prueba	Observaciones
Ingresar en el módulo de control rango de frecuencia entre 300 MHz y 15 GHz con	Sistema	Sin generación de alerta	1	15 minutos	SE CUMPLE	

valores flotantes						
Ingresar en el módulo de control rango de frecuencia mayores y menores de 300 MHz y 15 GHz con valores flotantes	Sistema	Generación de alerta “Rango de frecuencias no esperado. Cambiar”	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Ingresar en el módulo de control, valor de corriente de polarización mayor y menor del rango de operación segura del láser de semiconductor utilizado según hoja de datos DFB con valores flotantes	Sistema	Generación de alerta “Valor de corriente de polarización inseguro. Cambiar”	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Ingresar en el módulo de control, valor de temperatura mayor y menor del rango de operación segura del láser de semiconductor utilizado según hoja de datos DFB con valores flotantes	Sistema	Generación de alerta “Valor de temperatura inseguro. Cambiar”	1	15 minutos	SE CUMPLE	
El usuario debe ingresar el usuario de operador y su respectiva clave y realizar medición del RIN del láser de semiconductor	Usuario	Se realiza la medición	1	15 minutos	NO SE CUMPLE	

El usuario debe ingresar el usuario de operador y su respectiva clave y realizar modificaciones en el código de programación	Usuario	No tiene acceso al código de programación			NO SE CUMPLE	
El usuario debe ingresar el usuario de administrador y su respectiva clave y realizar medición del RIN del láser de semiconductor	Usuario	Se realiza la medición	1	15 minutos	NO SE CUMPLE	
El usuario debe ingresar el usuario de administrador y su respectiva clave y acceder al código de programación	Usuario	Tiene acceso al código de programación	1	15 minutos	NO SE CUMPLE	
Al ingresar a la cuenta de usuario, se generará una alerta en el que se le pregunta al usuario si ha leído y entendido en su totalidad el manual de operación del banco de pruebas y responderá SI.	Usuario	Tendrá acceso al sistema con sus respectivos privilegios	1	15 minutos	NO SE CUMPLE	
Al ingresar a la cuenta de usuario, se generará una alerta en el que se le pregunta al usuario si ha leído y entendido en su totalidad el manual de	Usuario	Se generará una alerta "Debe leer y entender el manual de operaciones para tener acceso" y se negará acceso al sistema	1	15 minutos	SE CUMPLE	

operación del banco de pruebas y responderá NO.						
Se debe verificar la disponibilidad de almacenamiento o disponible en el módulo de control	Módulo de control	Mayor a 5GB	1	15 minutos	NO SE CUMPLE	
Revisar el manual de operaciones	Manual	Debe contar con capítulo de "Privilegios de usuarios"		15 minutos	SE CUMPLE	
Revisar el manual de operaciones	Manual	Debe contar con capítulo de "Configuración del sistema"	1	15 minutos	SE CUMPLE	
Revisar el manual de operaciones	Manual	Debe contar con capítulo de "Límites del sistema"	1	15 minutos	SE CUMPLE	

Tabla 37. Prueba de funcionalidad del usuario y del sistema

EVIDENCIAS

En la prueba 3 se presentan las pruebas para la funcionalidad del sistema, a continuación, se observarán las acciones necesarias para que el sistema arroje la curva del RIN en el dominio de la frecuencia. Cabe resaltar que las pruebas de usuario no fueron posibles de realizar.

Dentro de las tareas por realizar se presentan las siguientes evidencias:



Figura 58. Banco experimental automatizado para la medición del RIN

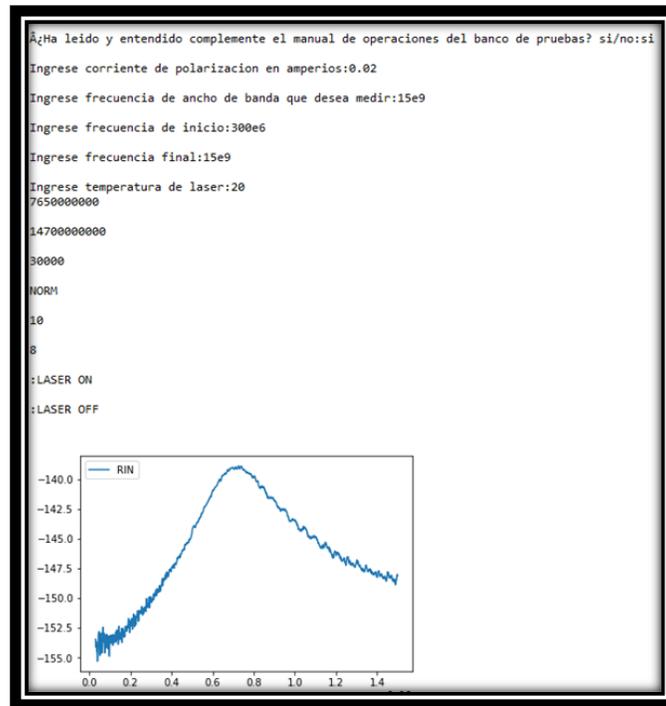


Figura 59. Prueba de funcionalidad del sistema

De la anterior grafica podemos observar la prueba realizada para la medición del RIN en la cual se muestran los requerimientos que debe solicitar el usuario luego de conectar los instrumentos de medida para hacer la medición y obtener la curva de intensidad relativa de ruido. En la tabla 36 se muestran las tareas que debe realizar el usuario para efectuar una correcta medición del RIN. Entre estas corresponden las que se observan en la figura 59.

15 AJUSTES

Debido a las restricciones al acceso del laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia donde se encuentran los equipos necesarios para el desarrollo del proyecto, provoco un atraso en el cronograma diseñado por lo cual no se pudieron realizar los siguientes requerimientos:

- La medida del RIN debe ser visualizada a través de una interfaz gráfica.
- El sistema debe contar con un rol de operario.
- El sistema debe contar con un rol de administrador
- Las actividades permitidas por cada rol de usuario
- Los operadores del sistema no deben intervenir el algoritmo matemático ni el código de programación.

16 MANUALES

El manual de usuario del banco automático para la medición del RIN establece los parámetros principales para el correcto uso y funcionamiento de la medición del RIN. Este manual se encuentra en anexos.

17 RESULTADOS

RESULTADO REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

En la siguiente tabla se observan los requerimientos funcionales planteados en el capítulo 4 y se muestran los respectivos resultados evidenciando el cumplimiento de cada uno.

Requerimiento	Valor obtenido	Cumplimiento	Observación
		Si / No / Parcial	
El banco de pruebas debe medir el RIN de un láser de semiconductor únicamente de tipo DFB.	Curva del RIN	si	
El láser de semiconductor debe ser caracterizado en términos de potencia óptica devuelta por corriente de entrada.	Curva LI potencia óptica por corriente polarizada	si	
El dispositivo de foto detección debe ser caracterizado en términos de responsividad.	0.5 (A/W)	parcial	Medición desfasada a la ideal
La variable de voltaje DC de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.	Medición de voltaje automática	Si	
La variable de potencia espectral de la salida del fotodetector debe ser medida de forma automática desde el módulo de control.	Medición de potencia automática	si	
La medida del RIN debe ser visualizada a través de una interfaz gráfica.	La curva del RIN se evidencia al ejecutar el código	no	
La medida del RIN debe ser indicada a través de un gráfico de línea en dB /Hz con respecto a Hertz.	Curva del RIN con frecuencia solicitada	si	
El usuario debe ingresar el intervalo de frecuencias en que se realizará la medida del RIN en Hz.	Medida del RIN para intervalos entre 0 y 15GHz	si	
El usuario debe ingresar el valor de la corriente de polarización del láser de semiconductor en que se realizará la medida del RIN en amperios.	Rango de corriente de 6ma a 20ma	si	
El usuario debe ingresar el valor de la temperatura del láser de semiconductor en que se realizará la medida del RIN en grados Celsius.	El valor máximo de temperatura son 30 grados.	si	
El usuario debe capacitarse leyendo el manual de operación para el uso del sistema.	El usuario lo solicita	si	

La fuente de corriente debe recibir el valor de corriente de polarización del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.	El algoritmo adquiere el valor de corriente de polarización de la fuente establecido por el usuario	si	
La fuente de corriente debe recibir el valor de temperatura del láser de semiconductor de forma automática desde el módulo de control.	El algoritmo adquiere el valor de temperatura de polarización de la fuente establecido por el usuario	si	
La fuente de corriente debe controlar la corriente de polarización suministrada al láser de semiconductor.	La fuente emite la corriente al laser establecida por el usuario	si	
La fuente de corriente debe controlar la variable de temperatura suministrada al láser de semiconductor.	La fuente emite la temperatura al laser establecida por el usuario	si	
El módulo de control debe tener una interfaz gráfica.	El algoritmo arroja la curva del RIN en un gráfico de dB/Hz	parcial	
El módulo de control debe tener un software de ingeniería.	El módulo de control procesa el algoritmo mediante el software spyder	si	
El software de ingeniería debe ejecutar el algoritmo matemático para el cálculo del RIN.	El software spyder ejecuta el algoritmo de adquisición y procesamiento de datos para el cálculo del RIN	si	
El software de ingeniería debe ser compatible con los instrumentos de medida utilizados en el laboratorio.	La adquisición de los datos de los instrumentos de medida se	si	

	realiza a través del software spyder y lenguaje Python					
El módulo de control debe tener un algoritmo matemático para la medición del RIN.	El software spyder procesa	si				
El módulo de control debe procesar la variable de voltaje DC extraída del fotodetector.	El algoritmo identifica la comunicación del multímetro y adquiere los datos	si				
El módulo de control de procesar la variable de potencia espectral extraída del fotodetector.	El algoritmo identifica la comunicación del analizador de espectro y procesa la variable de potencia espectral	si				
El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese la variable de corriente de polarización del láser de semiconductor.	Se genera una alerta de dato erróneo	si				
El sistema debe generar una alerta cuando los valores ingresados por el usuario (corriente y/o temperatura) superen los rangos de operación segura del láser de semiconductor.	Se genera una alerta de dato erróneo	si				
El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese la variable de temperatura del láser de semiconductor.	Se genera una alerta de dato erróneo	si				
El sistema debe generar una alerta cuando el usuario no ingrese el intervalo de frecuencias del láser de semiconductor.	Se genera una alerta de dato erróneo	si				
El sistema debe contar con un rol de operario.	No se implementa	no				
El sistema debe contar con un rol de administrador	No se implementa	no				
Las actividades permitidas por cada rol de usuario se describen a continuación:	No se implementa	no				
Las actividades permitidas por cada rol de usuario se describen a continuación:	No se implementa	no				
<table border="1" style="display: inline-table; vertical-align: middle;"> <tr> <td>Actividades</td> <td>Operario</td> <td>Administrador</td> </tr> </table>	Actividades	Operario	Administrador			
Actividades	Operario	Administrador				

Medida de un láser de semiconductor	Si	Si				
Modificación de código de programación	No	Si				
El sistema debe tener un sitio con 5GB de almacenamiento para guardar las respectivas mediciones.			El módulo de control posee un almacenamiento de 5GB para guardar las mediciones	si		
El sistema debe enviar notificaciones al usuario en caso de ingreso de datos erróneos.			Alarma de datos erróneos por parte del algoritmo	si		
El sistema debe tener un manual de operación.			Manual de operación en anexos	si		
Los subsistemas deben comunicarse de forma alámbrica.			Conexiones alambicas en capítulo de implementación	si		
El manual de operación deber ser sencillo y de fácil entendimiento.			Fácil interpretación del manual de operación con fotos guías	si		
El sistema debe contar con un plan de pruebas.			Capítulo 14	si		

Tabla 38. Resultados requerimientos funcionales

RESULTADO REQUERIMIENTOS DE CALIDAD

En la siguiente tabla se observan los requerimientos de calidad planteados en el capítulo 4 y se muestran los respectivos resultados evidenciando el cumplimiento de cada uno.

Requerimiento	Valor obtenido	Cumplimiento	Observación
		Si / No / Parcial	
El sistema debe tener un algoritmo matemático que calcule el RIN de un láser de semiconductor.	Algoritmo programado en Python que arroja la curva del RIN	si	
Las alertas al usuario deben emitirse antes de la inicialización de la medida del RIN.	Si los datos son erróneos el programa arroja una alerta	si	

Los valores de la medida del RIN deben estar comprendidos dentro del rango de frecuencias seleccionado por el usuario.	El programa solicita el rango de frecuencia deseado.	si	
--	--	----	--

Tabla 39. Resultado requerimientos calidad

RESULTADO REQUERIMIENTOS DE RESTRICCIÓN

En la siguiente tabla se observan los requerimientos de restricción planteados en el capítulo 4 y se muestran los respectivos resultados evidenciando el cumplimiento de cada uno.

Requerimiento	Valor obtenido	Cumplimiento	Observación
		Si / No / Parcial	
El sistema necesitara voltaje AC para su funcionamiento.	Los instrumentos de medida se alimentas por voltaje AC	si	
El sistema tiene la capacidad de medir un láser de semiconductor a la vez.	Medición para un láser de semiconductor a la vez	Si	El banco de medida solo mide RIN para láseres DFB
El sistema no iniciara la medida del RIN hasta que las alertas generadas no sean solucionadas.	Si aparece error, el usuario debe corregir	Si	
Los operadores del sistema no deben intervenir el algoritmo matemático ni el código de programación.	No es permitido editar el código fuente	Si	
El módulo de control debe tener las especificaciones necesarias para alojar el software de ingeniería utilizado.	El módulo de control posee el software de ingeniería	Si	
El software de ingeniería utilizado debe ser compatible con los elementos de medida utilizados por el sistema.	El software SPYDER se comunica con los elementos de medida por medio de lenguaje Python	Si	
Todos los elementos del sistema se deben ubicar sobre un mismo espacio de trabajo (laboratorio).	Banco de medidas implementado en laboratorio UN	Si	
La interconexión de los subsistemas será de forma alámbrica.	Conexión sistema en capítulo de implementación	si	
El sistema debe utilizar el Fotodetector New Focus 1414.	Equipo implementado	si	

El sistema debe utilizar el analizador de espectro R&S FSW43	Equipo implementado	si	
--	---------------------	----	--

Tabla 40. Resultado requerimientos restrictivos

RESULTADOS DE PRUEBAS

En los siguientes resultados se evidenciarán datos de pruebas realizadas en el banco de medida. Al realizar las pruebas de caracterización de los componentes se realizó un procedimiento de repetitividad de mediciones que consistió en realizar 10 veces la misma medición para cada prueba y determinar el grado de desviación estándar y error que se tuvo con respecto a las 10 mediciones. Al tener los datos de las 10 pruebas en un formato de Excel, se obtuvo la mediana de cada medición y se halló la desviación estándar de cada dato. Estos valores se graficaron como se muestran a continuación.

Resultado voltaje DC

Corrientes	Voltaje PROM	Desvest
0,001	0,0004855	9,21954E-07
0,002	0,0006718	1,46969E-06
0,003	0,0009819	2,07123E-06
0,004	0,0014919	2,16564E-06
0,005	0,0023303	1,73494E-06
0,006	0,027887	7,17245E-05
0,007	0,100416	6,59879E-05
0,008	0,1711375	5,66538E-05
0,009	0,240911	6,02412E-05
0,01	0,310217	6,34114E-05
0,011	0,379235	7,71038E-05
0,012	0,448069	6,74463E-05
0,013	0,516927	5,56866E-05
0,014	0,585532	4,9558E-05
0,015	0,654059	5,2811E-05
0,016	0,722446	4,58694E-05
0,017	0,790918	5,28772E-05
0,018	0,859103	5,56866E-05
0,019	0,927199	6,33167E-05
0,02	0,995405	6,40703E-05

Figura 60. Valores promedio voltaje y desviación estándar con respecto a corriente de alimentación

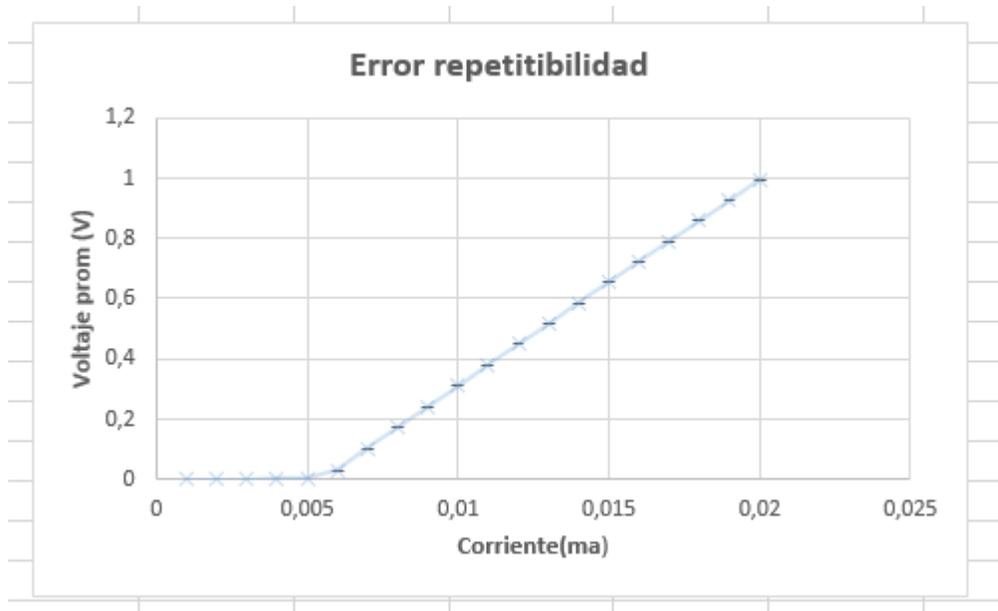


Figura 61. Gráfica desviación estándar voltaje respecto a corriente

De la figura 61 se puede evidenciar que las 10 pruebas de repetitividad no muestran una dispersión considerable, las líneas horizontales representa los intervalos de confianza que presentan los resultados. El porcentaje de desviación de las pruebas realizadas es de 0,06680794%

RESULTADO PRUEBA CARACTERIZACION LI

Corrientes	potencia	desvest
0,001	1,48132E-07	4,22475E-10
0,002	6,13816E-07	7,88022E-10
0,003	1,38087E-06	7,17579E-10
0,004	2,63443E-06	6,95465E-09
0,005	4,68481E-06	2,84829E-08
0,006	6,75064E-05	2,62738E-06
0,007	0,000254453	2,92454E-06
0,008	0,000442762	2,75853E-06
0,009	0,000632203	2,26986E-06
0,01	0,000822698	1,54178E-06
0,011	0,001013727	1,02956E-06
0,012	0,001205464	4,90106E-07
0,013	0,001397553	1,91498E-07
0,014	0,00158987	2,0035E-07
0,015	0,001782176	2,91061E-07
0,016	0,001974622	1,87892E-07
0,017	0,002167555	2,2715E-07
0,018	0,002360153	2,89557E-07
0,019	0,002552752	3,05361E-07
0,02	0,00274563	7,88647E-07

Figura 62. Valores de potencia promedio y desviación estándar respecto a corriente de alimentación

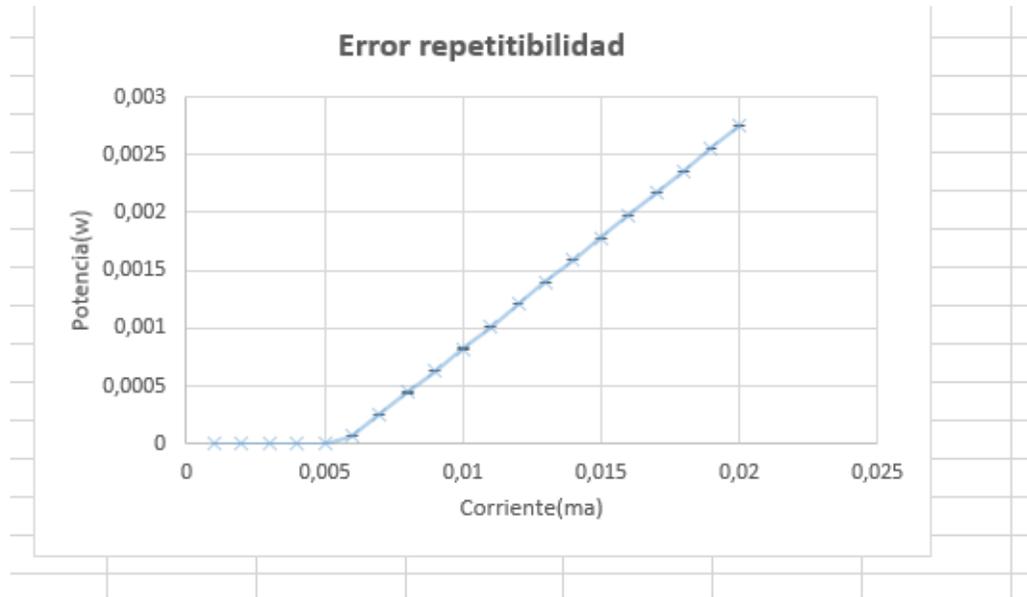


Figura 63. Grafica desviación estándar de potencia respecto a corriente

De la figura 63 se puede evidenciar que las 10 pruebas de repetitividad no muestran una dispersión considerable, las líneas horizontales representa los intervalos de confianza que presentan los resultados. El porcentaje de desviación de las pruebas realizadas es de 0,39030949%

RESULTADO PRUEBA RESPONSIVIDAD

Corrientes	Responsividad	DESVEST
0,001	4,096878218	0,010863587
0,002	1,368079677	0,002261605
0,003	0,888839935	0,002164293
0,004	0,707892647	0,002850246
0,005	0,621796019	0,004268372
0,006	0,517259348	0,022707154
0,007	0,493362639	0,005961295
0,008	0,483172669	0,003121725
0,009	0,476338707	0,001756957
0,01	0,471342432	0,000932828
0,011	0,467625189	0,000509929
0,012	0,464622946	0,000229587
0,013	0,462350052	5,30065E-05
0,014	0,460361408	6,09439E-05
0,015	0,458750275	7,27605E-05
0,016	0,457331792	4,18433E-05
0,017	0,456111899	5,71734E-05
0,018	0,45500385	6,79156E-05
0,019	0,454019393	7,38307E-05

Figura 64. Valores de responsividad y desviación estándar respecto a corriente de polarización

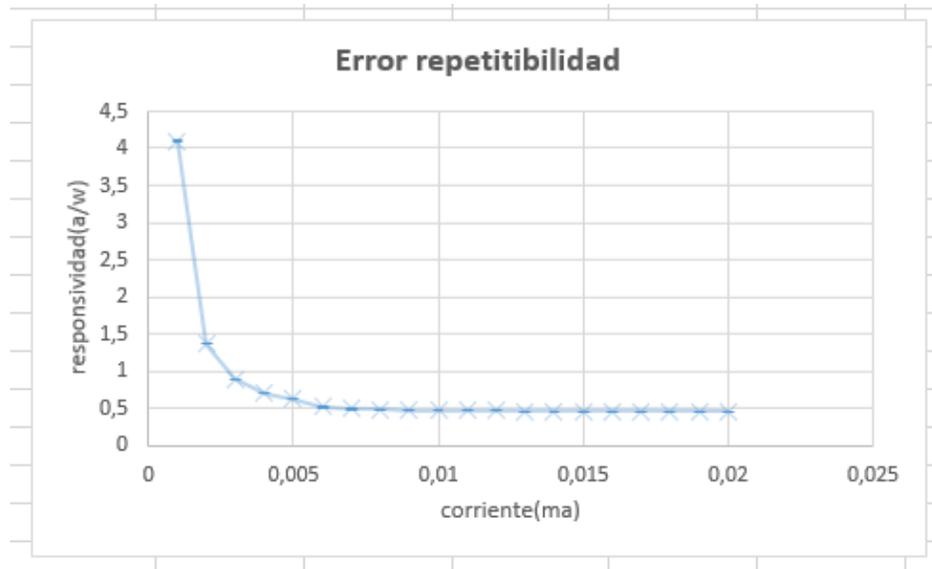


Figura 65. Grafica desviación estándar responsividad respecto a corriente de polarización

De la figura 65 se puede evidenciar que las 10 pruebas de repetitividad no muestran una dispersión considerable, las líneas horizontales representa los intervalos de confianza que presentan los resultados. El porcentaje de desviación de las pruebas realizadas es de 0,44279206%

RESULTADO ESTABILIDAD DE TEMPERATURA

En la siguiente grafica se observan los resultados de una prueba de funcionalidad de la fuente de alimentación del láser, la cual consistió en activar la emisión de temperatura a 20 grados por un lapso de 15 minutos y observar la estabilidad de esta alimentación.

TIMEPO	prom temp	DESVES P	porcentaje
1	19,6652368	0,026833568	0,13645179
2	19,9958235	0,004603108	0,02302034
3	20,0122522	0,000429663	0,002147
4	20,0115299	0,000995424	0,00497425
5	20,012832	0,00015825	0,00079075
6	20,0117639	0,000838473	0,0041899
7	20,0120284	0,000723182	0,00361374
8	20,0126692	0,00023942	0,00119634
9	20,011357	0,000676585	0,003381
10	20,0119368	0,000943702	0,0047157
11	20,0113265	0,000403563	0,00201667
12	20,0112756	0,001174106	0,00586722
13	20,0118656	0,000520302	0,00259997
14	20,012008	0,00088179	0,00440631
15	20,0116113	0,000921062	0,00460264

Figura 66. Valores de desviación estándar de temperatura respecto a tiempo

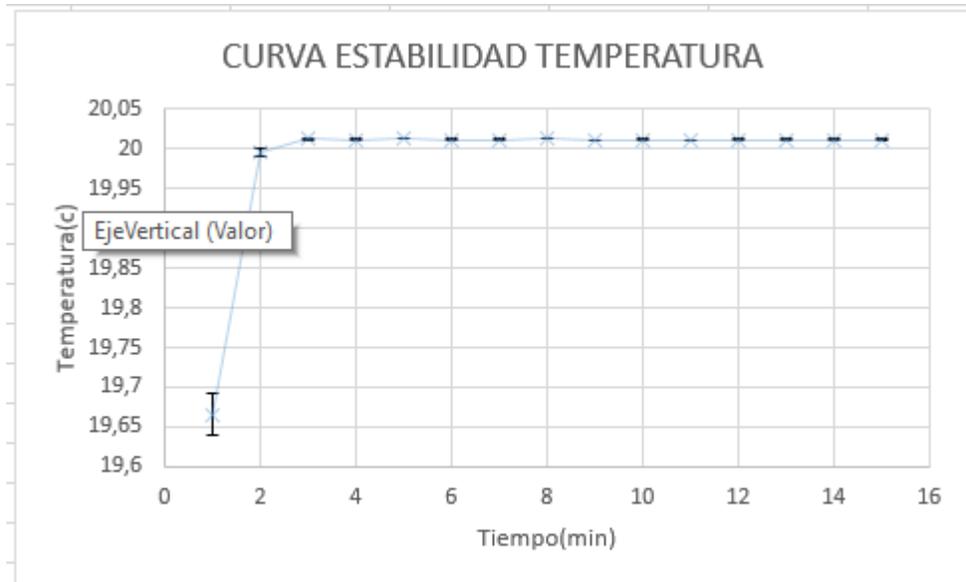


Figura 67. Grafica desviación estándar de temperatura respecto a tiempo

De la figura 67 se puede evidenciar que las 10 pruebas de repetitividad muestran una dispersión considerable en los dos primeros minutos de alimentación de temperatura, las líneas verticales representan los intervalos de confianza que presentan los resultados. Del resultado de la prueba observamos la estabilidad de la temperatura en 20 grados centígrados. El porcentaje de desviación de las pruebas realizadas es de 0.01359824%

RESULTADO ESTABILIDAD DE CORRIENTE

En la siguiente grafica se observan los resultados de una prueba de funcionalidad de la fuente de alimentación del láser, la cual consistió en activar la emisión de corriente a 15 ma por un lapso de 15 minutos y observar la estabilidad de esta alimentación.

TIMEPO	prom corrier	desvest p	porcentaje
1	0,02002865	2,00635E-06	0,0100174
2	0,02003255	2,56261E-06	0,01279222
3	0,02002702	4,60091E-07	0,00229735
4	0,02002865	3,93342E-06	0,01963896
5	0,02002897	2,00625E-06	0,01001675
6	0,02003093	2,80025E-06	0,01397964
7	0,02002962	2,43546E-06	0,0121593
8	0,02002865	1,65955E-06	0,00828587
9	0,02002962	4,60986E-07	0,00230152
10	0,02002865	1,21817E-06	0,00608213
11	0,02002832	2,10991E-06	0,01053465
12	0,02002637	2,10933E-06	0,01053275
13	0,02002767	4,01339E-06	0,0200392
14	0,0200293	1,38122E-06	0,00689597
15	0,02002734	2,10933E-06	0,01053223

Figura 68. Valores de desviación estándar la corriente de alimentación en función del tiempo

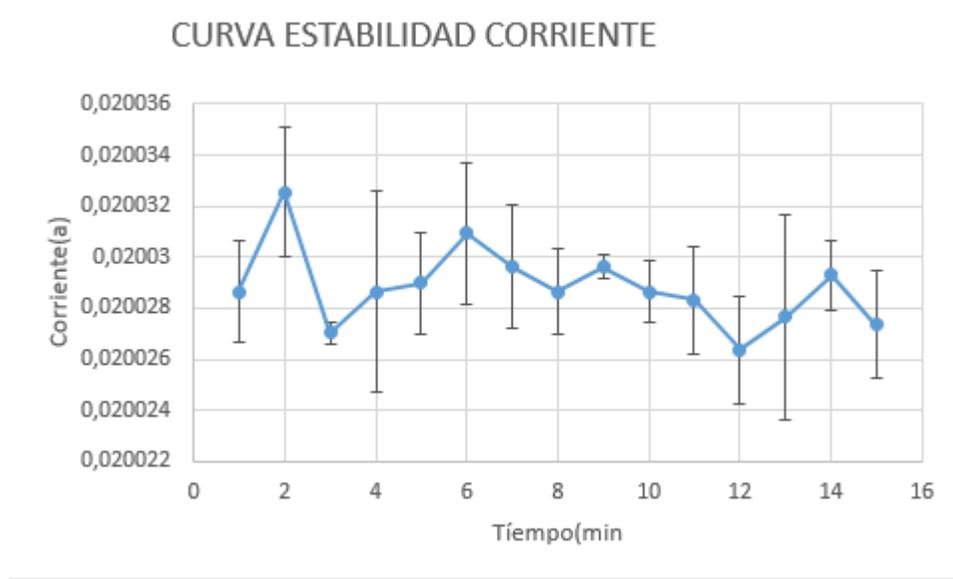


Figura 69. Gráfica de corriente de alimentación en función del tiempo

De la figura 69 se puede evidenciar que las 10 pruebas de repetitividad muestran una dispersión en los puntos de intervalos de confianza. Teniendo en cuenta que la variación de la variable corriente es muy pequeña. Determinamos que el resultado de estabilidad para una prueba de medición del RIN con 20 ma de alimentación es óptima de realizar. El porcentaje de desviación de las pruebas realizadas es de 0.01040706%

RESULTADO DE MEDICION DEL RIN

En la siguiente grafica se observa el resultado de la prueba de repetitividad de 10 veces de la curva del RIN con una corriente de alimentación de 15 mA a un rango de frecuencia de 0 a 15GHz

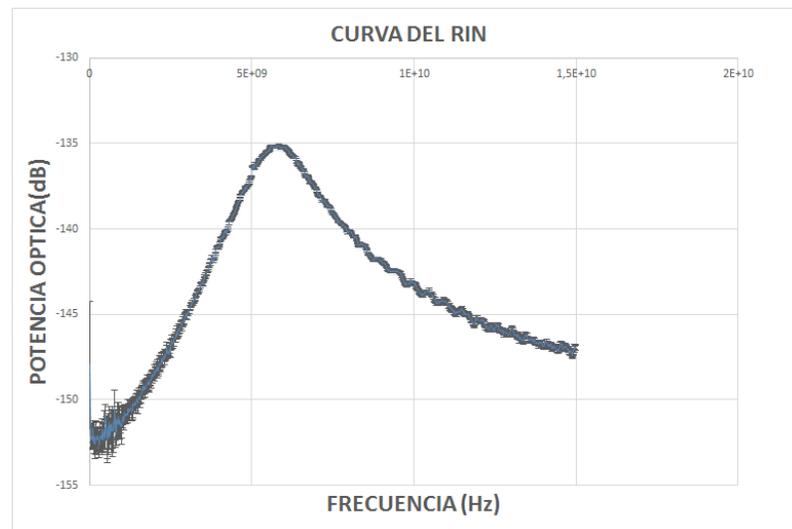


Figura 70. Gráfica de medición del RIN

En la siguiente grafica se observa la curva del RIN para 3 corrientes de alimentación distintas y se observa que la gráfica se empieza a estabilizar luego del corriente umbral del láser DFB. El porcentaje de desviación de las pruebas realizadas es de 0,113542203%

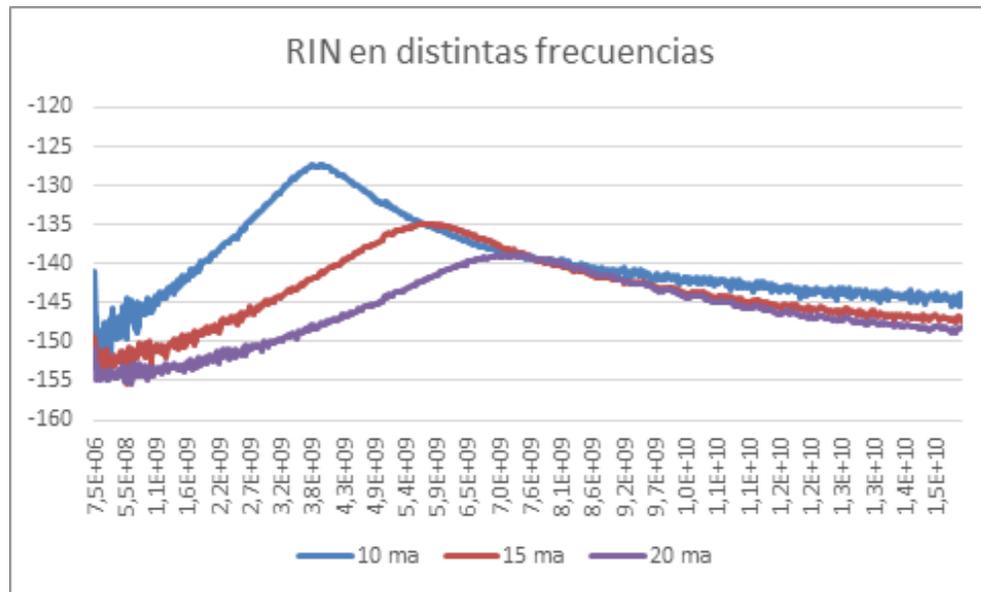


Figura 71. Grafica comparativa de medición del RIN para 3 corrientes de polarización

18 DISCUSIÓN

Para el diseño funcional del sistema se tomó en cuenta dos alternativas de diseño que cumplieran con los requerimientos establecidos. La variación entre las dos alternativas propuestas se encuentra en la función de convertir la señal óptica emitida por el láser de semiconductor en señal eléctrica que pueda ser medible en potencia espectral y voltaje DC. Una de las alternativas dispone un subsistema para cada variable de señal eléctrica requerida (potencia eléctrica y voltaje DC), mientras que la alternativa escogida propone un solo subsistema idóneo, capaz de captar la señal óptica y obtener de salida las dos señales eléctricas solicitadas.

Tomando en cuenta el capítulo 3 donde se plantea el objetivo general y los objetivos específicos del proyecto. Con el entregable se da cumplimiento a los objetivos establecidos en un principio con el desarrollo de un banco experimental automatizado para la medición del RIN para láseres de semiconductor, que con la implementación de un plan de pruebas y la elaboración de un manual de usuario, el usuario puede ingresar el ancho de banda de frecuencia de medición, corriente de polarización y temperatura del láser deseada y obtendrá en un tiempo de 2 a 3 minutos el gráfico de la medición del RIN dentro del rango de frecuencias seleccionado junto con un archivo de Excel con los datos de los puntos de medida por cada frecuencia.

Durante la etapa de implementación el proyecto se vio severamente afectado en términos de cumplimiento del cronograma, esto fue debido a la situación de salud pública global que los términos de acceso al laboratorio de la Universidad Nacional de Colombia cambiaron de forma estricta y por lo cual nunca se tuvo acceso a los equipos de forma presencial de parte de los estudiantes ya que solamente era posible el acceso del director del proyecto. A partir de este punto las fechas de implementación y plan de pruebas se vieron afectadas hasta la situación

de no poder cumplir con algunos de los requerimientos del sistema que son indicados a continuación:

- Requerimientos no cumplidos:
 - La medida del RIN debe ser visualizada a través de una interfaz gráfica.
 - El sistema debe contar con un rol de operario.
 - El sistema debe contar con un rol de administrador
 - Las actividades permitidas por cada rol de usuario
 - Los operadores del sistema no deben intervenir el algoritmo matemático ni el código de programación.

El motivo por el cual estos requerimientos no fueron cumplidos se encuentra en el retraso del cronograma debido a la disponibilidad del laboratorio, dado que se prefirió dar atención a requerimientos y pruebas claves para el desarrollo del sistema y que implicaban impacto en cumplimiento de los objetivos del proyecto.

El desarrollo del plan de pruebas se ve demostrado en las gráficas obtenidas de los datos medidos del banco experimental. Las gráficas de las figuras 61 y 63 de Vdc Vs Corriente de polarización y potencia óptica Vs Corriente de polarización permiten determinar el corriente umbral de operación del láser. Para el caso del láser DFB que fue utilizado, su umbral de corriente de operación se encuentra en 6mA, por otra parte, las gráficas de voltaje y potencia óptica del láser permiten calcular el valor real de la responsividad, para este cálculo se halló el valor de corriente promedio a través del valor de voltaje medido y la ganancia de transimpedancia del puerto DC del fotodetector, posteriormente se calculó la responsividad con la relación de corriente promedio foto detectada sobre la potencia óptica, con su resultado se obtuvo la gráfica de responsividad que al comparar los valores obtenidos en la práctica su valor es destinito el encontrado en la hoja de datos del fotodetector New Port 1414.

Los resultados de estabilidad de corriente y temperatura en las figuras 67 y 69 demuestran el funcionamiento correcto del módulo de control de la fuente de corriente empleada, esto permitirá mediciones del RIN repetitivas con resultados con poco desfase como se ve en el resultado de los desfases de la medición del RIN en la figura 70.

Para las pruebas de repetitividad de la medición del RIN se obtienen valores de desfase entre las medidas tomadas (10) cercanos al 0,12% de desviación lo que indica una medición del RIN confiable y repetible.

En figura 71 se encuentra la gráfica de las curvas del RIN del láser para distintas corrientes de polarización, en este grafico se puede evidenciar el comportamiento típico del RIN en láseres de semiconductor. El comportamiento típico del RIN en estos láseres se refiere a que en análisis de altas frecuencias el RIN tiene un frecuencia resonante que es donde se presenta los niveles de ruido más altos, de igual forma a niveles de corriente de polarización en donde la tasa de emisión espontanea es más alta, el nivel ruido es mayor y su frecuencia resonante se ubica en frecuencias relativamente bajas, por lo general las corrientes en donde se encuentran las tasa de emisión más altas son las corrientes bajas cercanas a la corriente umbral del láser, por lo que se puede decir que los resultados de la medida del RIN están de acuerdo a los comportamientos esperados.

19 CONCLUSIONES

Con los datos tomados de la caracterización del láser DFB utilizado con ayuda de un gráfico de línea de vatios versus corriente de polarización se comprueba que el láser utilizado para las pruebas tiene el umbral de corriente de activación en 6mA y su rango de operación de acuerdo con las pruebas se encuentra entre 6mA y 20mA.

La desviación de los valores de las pruebas del sistema se encuentra en porcentajes menores al 0.5% esto demuestra la confiabilidad en la repetitividad de las pruebas ejecutadas teniendo un porcentaje de repetitividad mayor al 99.5%.

Se logro caracterizar el fotodetector New Port 1414 en términos de la responsividad, los resultados de esta prueba concluyen una responsividad real del láser de semiconductor bajo prueba cercano a 0.5 A/W, este valor indica una diferencia con el valor establecido en las especificaciones del fotodetector que indican un responsividad de 0.7A/W.

Las gráficas obtenidas de la medición del RIN del láser de semiconductor utilizado tienen un comportamiento de acuerdo con lo precedido y el porcentaje de repetitividad de la prueba concluye que el sistema posee una medida del RIN confiable.

El cumplimiento de los requerimientos del sistema supera el 86.5%, los requerimientos que no dieron cumplimiento no presentan ningún tipo de afectación en el algoritmo matemático, ni en los códigos de pruebas del sistema por lo que la ausencia de estos requerimientos es imperceptible en el funcionamiento final del sistema.

Se da cumplimiento con los objetivos general y específicos del proyecto tiendo como entregables el plan de pruebas del banco experimental, manual de usuario del banco experimental, la posibilidad del usuario de modificar el rango de frecuencias de medición del RIN y el desarrollo del banco experimental automatizado que permite visualizar la curva del RIN a través de un gráfico de línea.

20 REFERENCIAS DOCUMENTALES

- [1] J. Martinez, "Espectro 5G Posición de la GSMA sobre políticas públicas," pp. 1–8, 2016.
- [2] L. Maleki and A. B. Matsko, "Optical generation of microwave reference frequencies," 2011.
- [3] R. Hui and M. O'Sullivan, *Fiber Optic Measurement Techniques*. 2009.
- [4] S. Vaezi-Nejad, M. Cox, and N. Cooper, "Novel instrumentation for measurement of relative intensity noise," *Trans. Inst. Meas. Control*, vol. 34, no. 4, pp. 477–486, 2012.
- [5] Agilent, "Keysight Technologies Digital Communication Analyzer (DCA), Measure Relative Intensity Noise (RIN)," 2014.
- [6] K. Technologies, "A0010A 40GHz RIN Measurement System Keysight Technologies and SYCATUS," p. 2, 2016.
- [7] C. Solutions, "Application Note Relative Intensity Noise (RIN)," pp. 1–7.
- [8] "Diagrama de Bloques de Un Multmetro Digital." [Online]. Available:

- <https://dokumen.tips/documents/diagrama-de-bloques-de-un-multimetro-digital.html>. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [9] "Superheterodyne Spectrum Analyzer: Sweep Swept Analyser » Electronics Notes." [Online]. Available: <https://www.electronics-notes.com/articles/test-methods/spectrum-analyzer/superheterodyne-sweep-swept-spectrum-analyser.php>. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [10] "Multímetro digital 8808A." [Online]. Available: https://la.flukecal.com/products/data-acquisition-and-test-equipment/bench-multimeters/multímetro-digital-8808a?quicktabs_product_details=4. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [11] "Cable CAN Sin Terminación - National Instruments." [Online]. Available: <https://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/es/nid/211329>. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [12] "Cable Rj45 X 1.5 Mt Utp Categoría 6 Gigabit Red Internet | Mercado Libre." [Online]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.co/MCO-578054662-cable-rj45-x-15-mt-utp-categoria-6-gigabit-red-internet-_JM. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [13] "Thorlabs - PM100D Compact Power and Energy Meter Console, Digital 4" LCD." [Online]. Available: <https://www.thorlabs.com/thorproduct.cfm?partnumber=PM100D>. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [14] "1414 Fiber-Optic Detector." [Online]. Available: <https://www.newport.com/p/1414>. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [15] YOKOGAWA, "AQ6370D Optical Spectrum Analyzer - User Manual," 2019.
- [16] "R&S®FSW signal and spectrum analyzer | Rohde & Schwarz." [Online]. Available: https://www.rohde-schwarz.com/ca/product/fsw-productstartpage_63493-11793.html. [Accessed: 30-Nov-2020].
- [17] E. Photonics GmbH, "Relative Intensity Noise of Distributed Feedback Laser," pp. 1–6, 2013.

21 ANEXOS

Anexo A. Manuales de equipos del Banco experimental de medida del RIN de láseres de semiconductor

- Manual de fotodetector New Focus 1414:

https://www.newport.com/medias/sys_master/images/images/h68/hba/8797113122846/High-Speed-Detectors-and-Receivers-User-s-Manual.pdf

- Manual de multímetro Fluke 8808A:

https://la.flukecal.com/products/data-acquisition-and-test-equipment/bench-multimeters/mult%C3%ADmetro-digital-8808a?quicktabs_product_details=4

- Manual de analizador de espectro R&S FSW43:

https://www.rohde-schwarz.com/webhelp/FSW_HTML_UserManuals_en/FSW_HTML_UserManuals_en.htm

- Manual analizador de espectro óptico:

<https://cdn.tmi.yokogawa.com/1/6058/files/IMAQ6370D-01EN.pdf>

- Documentación de lenguaje de programación Python:

<https://docs.python.org/3/using/index.html>

Anexo B. Manual de usuario y operación del Banco experimental automatizado para la medición de intensidad relativa de ruido en láseres de semiconductor

*Banco experimental automatizado para la medición
de intensidad relativa de ruido en láseres de
semiconductor*

Manual de USUARIO Y OPERACION

Versión 1.0

24/11/2020

Historial de versiones

Versión #	Implementado por	Fecha de revisión	Aprobado por	Fecha de aprobación	Razón
1.0	<i>Daniel Heredia</i>	<i>24/11/2020</i>	Camilo Casallas	<i>24/11/2020</i>	<i>Creación del documento</i>

Tabla de contenido

1.1	Propósito	108
1.2	Audiencia	108
2.1	Características clave	108
2.2	Inventario	108
2.3	Ambiente	109
2.4	Operación del sistema	110
3.1	Equipos del sistema	111
3.1.1	Fuente de corriente	111
3.1.2	Montaje – Laser	112
3.1.3	Fotodetector	113
3.1.4	Multímetro	114
3.1.5	Analizador de espectro	116
3.2	PC - SPYDER	117
3.3	Instalación	119
3.4	Configuración del sistema	119
3.5	Inicio del sistema	121
3.5.1	Nombre de archivo y numero de medidas	124
3.5.2	Límites del sistema	124
4.1	Instrucciones	125
4.2	Mensaje de error	127
5.1	Gestión de cambio	128
5.2	Gestión de configuración	128
5.3	Gestión de versiones	128
5.4	Administración de seguridad	128

• Introducción

○ Propósito

El propósito de la implementación del banco experimental se encuentra en la propuesta de solución para láseres de semiconductor sin caracterizar el comportamiento del RIN. Con la ejecución de medidas automatizadas del RIN se puede concluir que tan idóneo es utilizar el dispositivo bajo prueba o en que frecuencias específicas presenta mayores ventajas para su uso.

○ Audiencia

La audiencia a la que está dirigida este banco experimental está conformada por las personas involucradas en el proyecto de investigación Estudio de técnicas de generación de señales de microondas para telecomunicaciones 5G. Sin embargo, al ser un proyecto que es realizado en colaboración de las universidades Universidad Nacional de Colombia y Universidad El Bosque es posible que el montaje del banco experimental y la ejecución del código de programación hagan parte de proyectos de investigación llevados a cabo por estudiantes y/o profesores de estas universidades.

• Descripción del sistema

○ Características clave

El banco experimental tiene como función la medición del RIN de láseres basados en semiconductor, para esto el dispositivo debe realizar funciones de comunicación con los elementos de medida y fuente de alimentación, al igual que realizar la adquisición y procesamiento de los datos recolectados de los distintos componentes del sistema

○ Inventario

ítem	Descripción	Referencia
1	Fuente de alimentación del laser	Thorlabs PRO8000
2	Montaje de laser Pigtailed	Thorlabs LDM9LP
3	Laser DFB	LP1550-SAD2
4	Fotodetector	New Port 1414
5	Multímetro	Fluke 8808A
6	Analizador de espectro	Rohde&Schwarz FSW-43
7	Computador	HP ProDesk 400 G1
8	Entorno de desarrollo integrado	SPYDER (Python 2.7)

Tabla 1. Inventario de equipos

ítem	Nombre	Descripción	Cantidad
1	Cable de alimentación	Cables de alimentación AC 120v, 60Hz	4
2	DB15/DB9	Cable serial DB 15 macho/DB9 hembra	1
3	DB9/DB9	Cable serial DB9 macho/DB9 macho	1
4	Cable LAN	Cable LAN RJ45	1
5	SMA/SMA	Cable SMA conector macho 2.92mm/hembra 2.92mm	1
6	USB/DB9-RS232	Cable serial RS232/USB	2
7	Banana/SMA	Cable conectores banana/SMA	1

Tabla 2. Inventario de cables

○ **Ambiente**

En la figura 1 se ilustra la distribución de los elementos que conforman el sistema y como se encuentran relacionados. En la figura 2 se observa el montaje físico del sistema de acuerdo con el diagrama planteado.

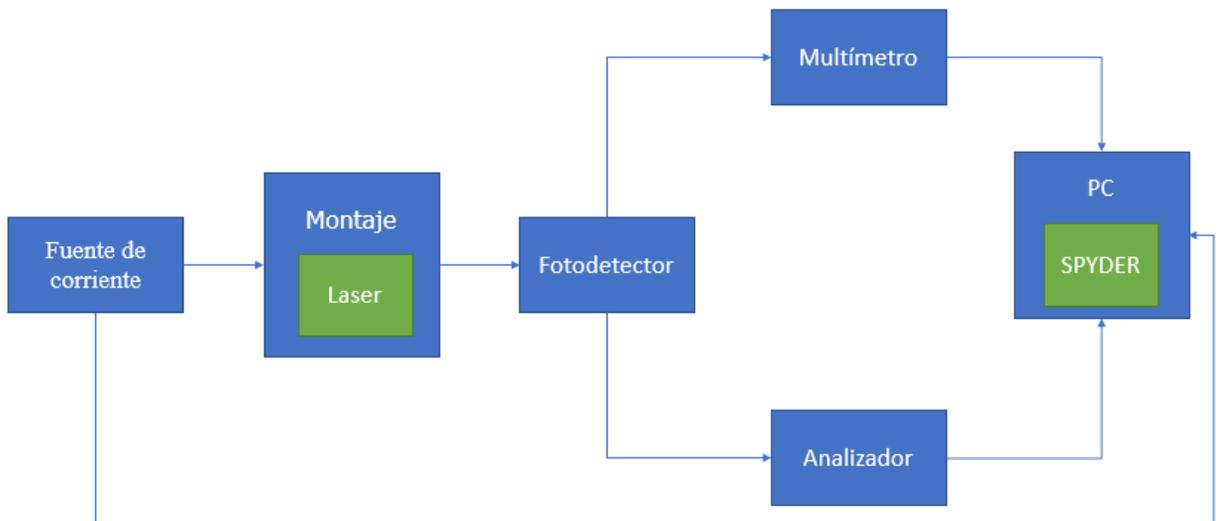


Figura 1. Diagrama del ambiente del banco experimental



Figura 2. Montaje del banco experimental

En la terminal de anaconda a través de comandos de línea que permitan la navegación entre directorios y ejecutar el código de programación basado en Python será la interfaz de hombre maquina durante el proceso de medición.

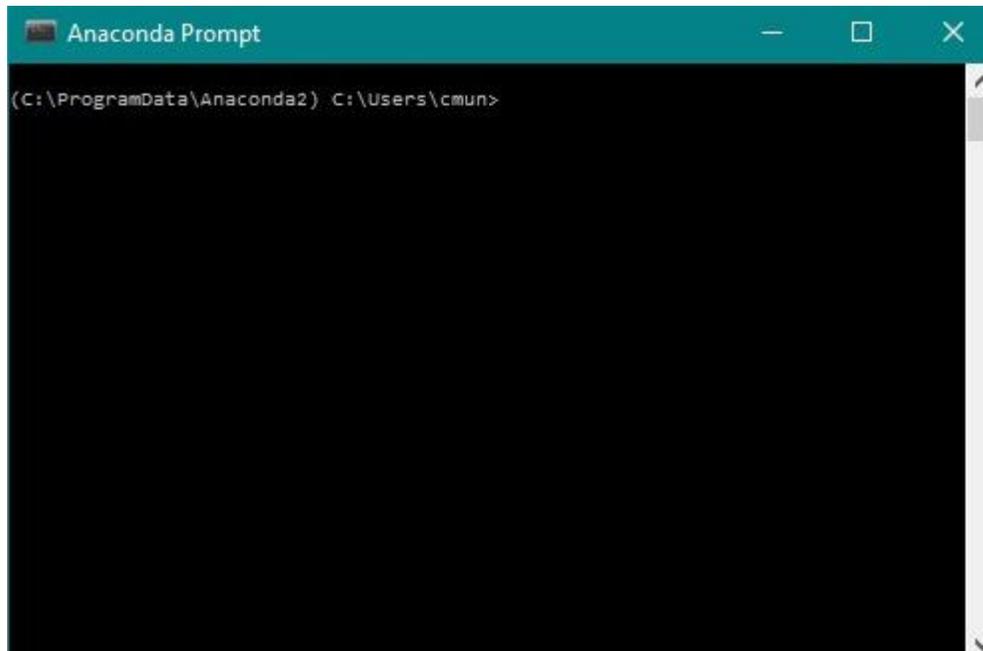


Figura 3. Terminal de anaconda

○ **Operación del sistema**

Para la operación del sistema se debe iniciar con la ubicación de todos los elementos indicados en el inventario en el mismo espacio habitacional y que la conexión alámbrica entre los componentes sea posible. Se procede con el cableado de los elementos y entre ellos de acuerdo con la figura 1 para que los que equipos se encuentren alimentados, comunicados y ajustados para el

procesamiento y adquisición de datos. Una vez los equipos del banco experimental se encuentra lista se procede con la ejecución del programa y la configuración de parámetros solicitados por el programa

- **Aplicación**

- **Equipos del sistema**

- **Fuente de corriente**

Para el equipo de fuente de corriente se usa la unidad principal ThorLabs PRO-800 de dos módulos

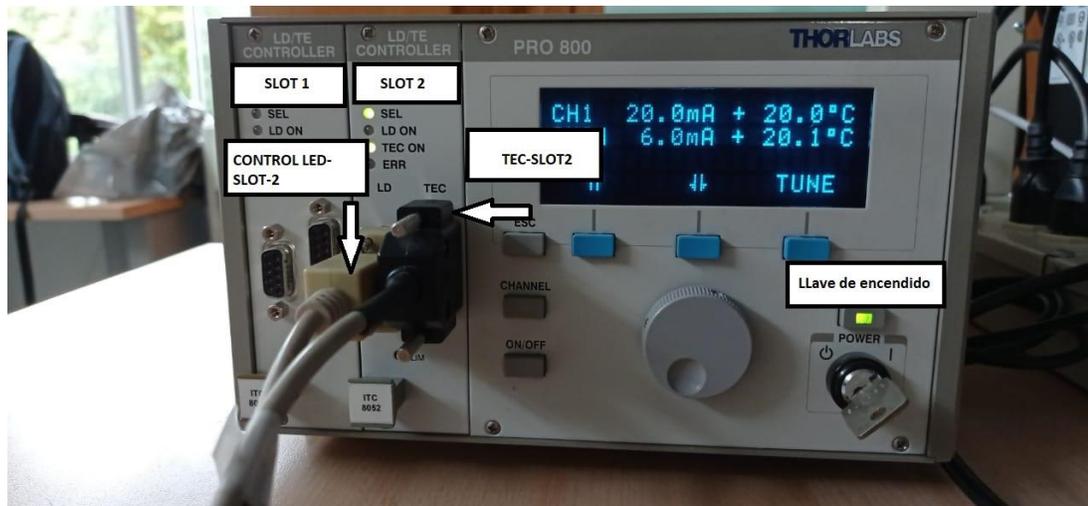


Figura 4. Fuente de corriente vista frontal

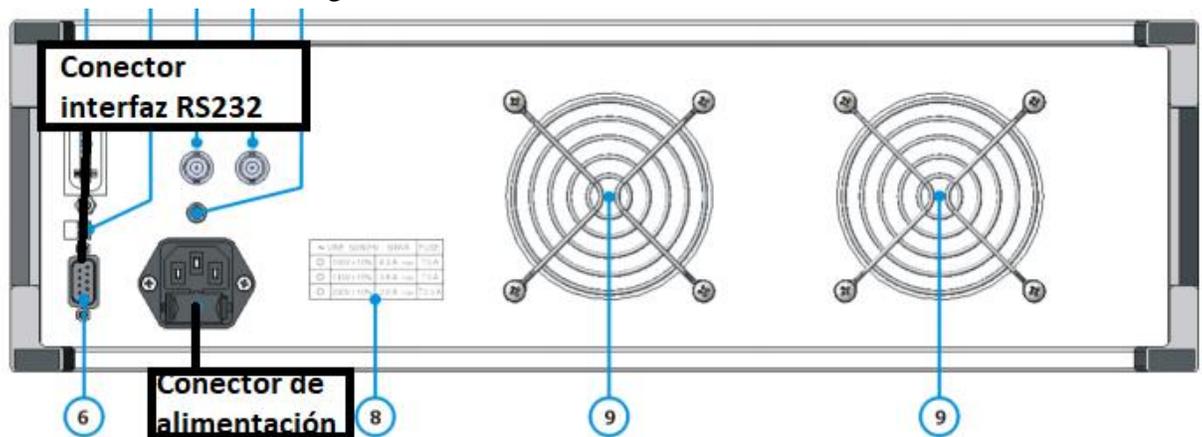


Figura 5. Fuente de corriente vista trasera

Cables utilizados para la conexión de la fuente de corriente:



Figura 6. Cable de controlador de corriente de polarización de láser. DB9/DB9



Figura 7. Cable de controlador de temperatura de láser. DB15/DB9

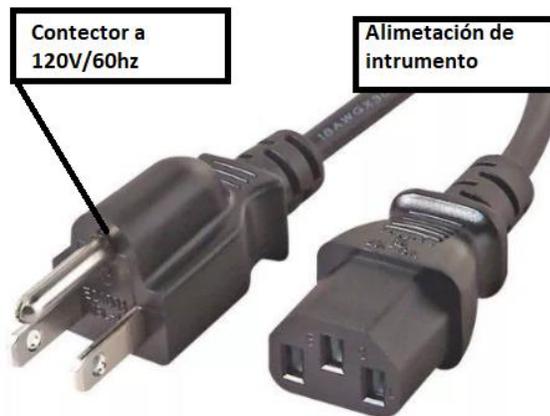


Figura 8. Cable de alimentación del instrumento AC

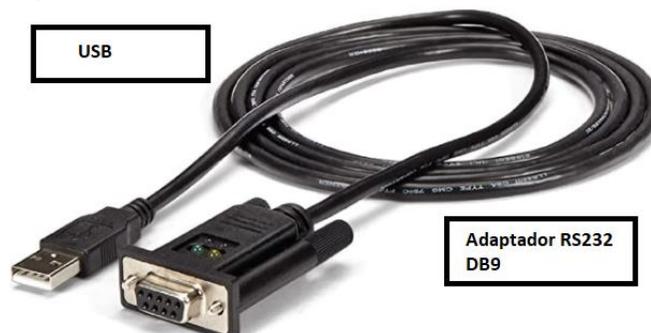


Figura 10. Cable de comunicación remota USB/DB9-RS232

▪ **Montaje – Laser**

Se utiliza un dispositivo de montaje que permita la ubicación del laser de semiconductor y la adaptación de comunicación de los controladores de temperatura y corriente de polarización de la fuente de corriente con el láser.



Figura 11. Montaje ThorLabs para láseres trenzados

Se utiliza un láser trenzado DFB que sea compatible con el montaje para láseres trenzados de ThorLabs.

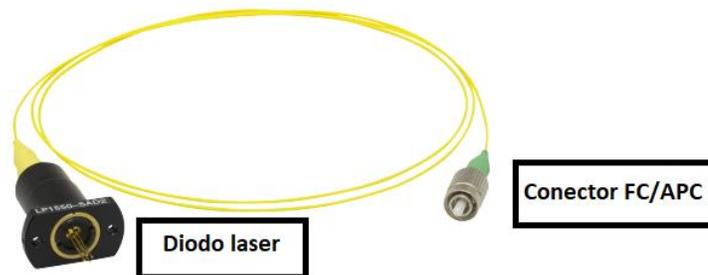


Figura 12. Laser de semiconductor trenzado

▪ **Fotodetector**

El fotodetector utilizado es un New Port 1414 con la siguiente distribución de puerto y conexiones:

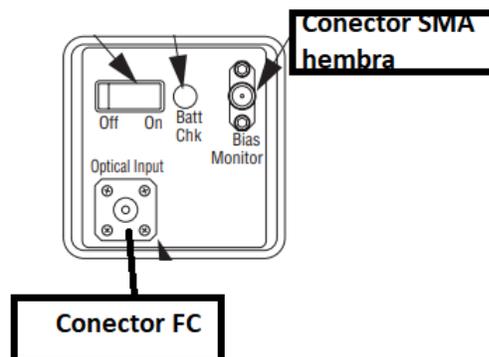


Figura 13. New Port 1414 vista frontal

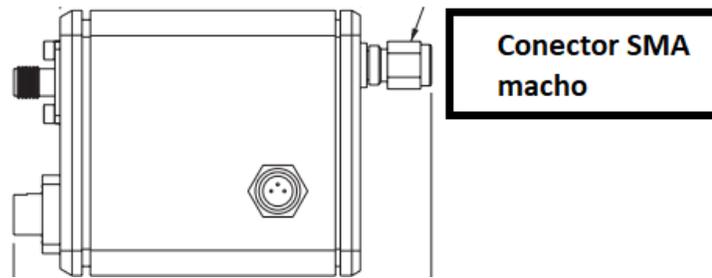


Figura 14. New Port 1414 vista lateral

Cables utilizados para la conexión del fotodetector:

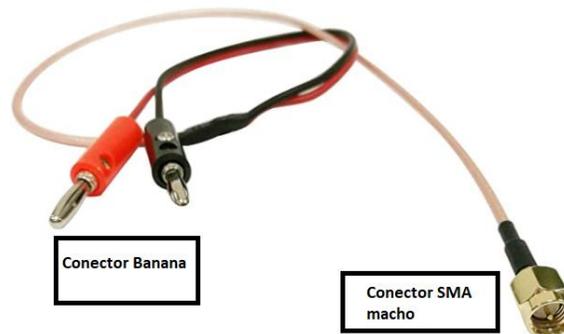


Figura 15. Cable banana/SMA macho

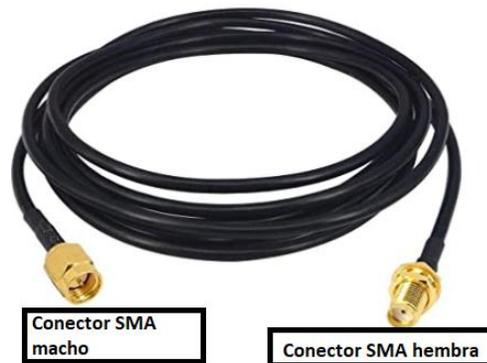


Figura 16. Cable SMA macho a hembra

- **Multímetro**

El multímetro utilizado es el Fluke 8080A, los puertos de conexión que se utilizaran son:

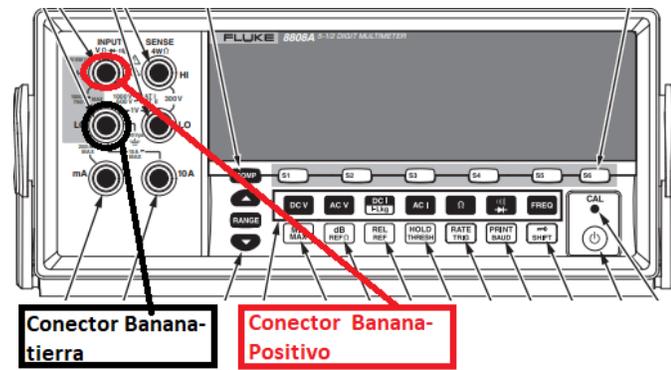


Figura 17. Multímetro Fluke vista frontal

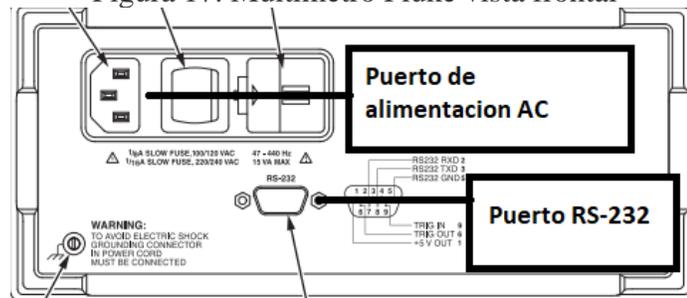


Figura 18. Multímetro Fluke vista trasera

Cables utilizados para la conexión del multímetro Fluke 8088A:

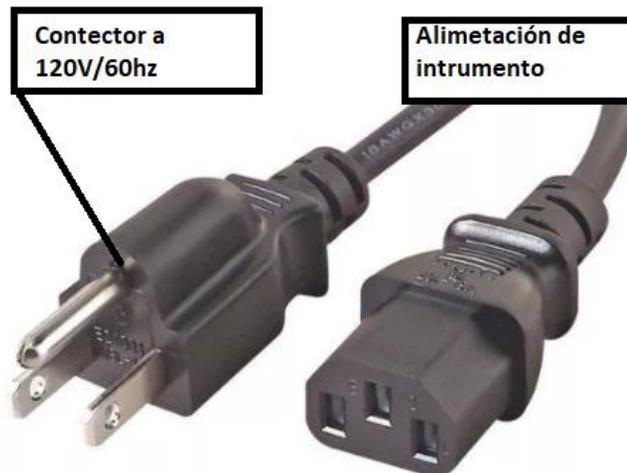


Figura 19. Cable de alimentación del instrumento AC

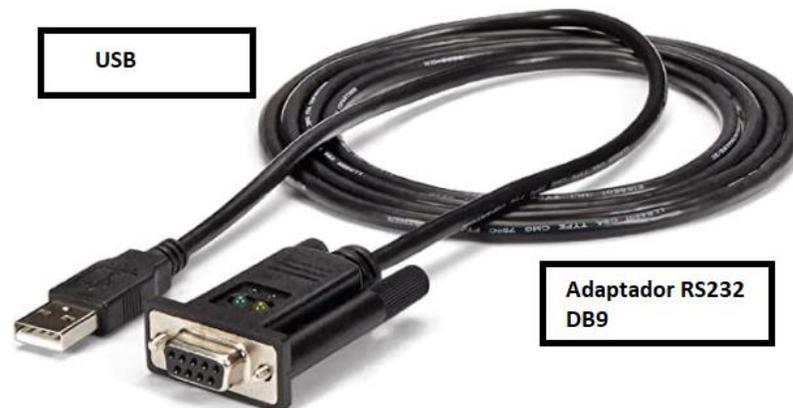


Figura 20. Cable de comunicación remota USB/DB9-RS232

▪ **Analizador de espectro**

El analizador de espectro utilizado en el montaje del banco experimental es el Rohde & Schwarz FSW43

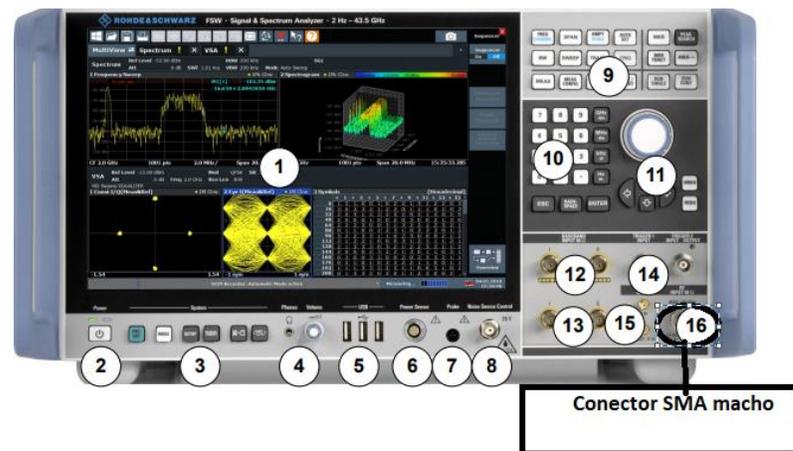


Figura 21. Panel frontal del Rohde & Schwarz FSW43

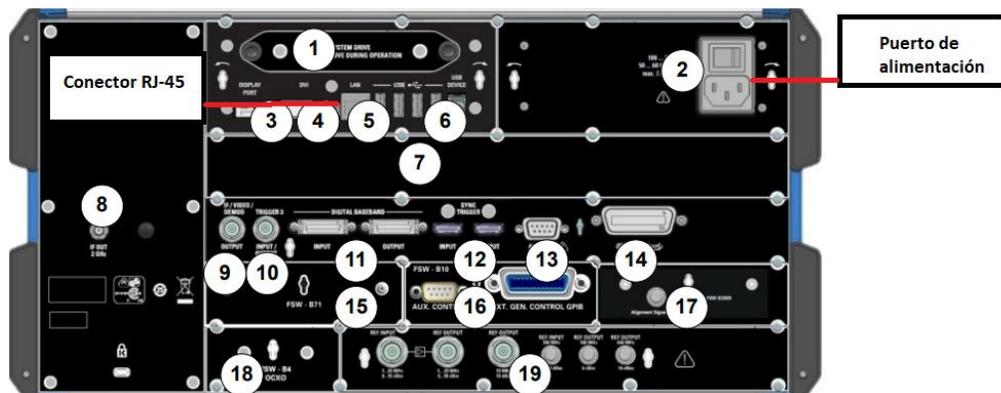


Figura 22. Panel trasero del Rohde & Schwarz FSW43

Los cables utilizados para el Rohde & Schwarz FSW43 son:

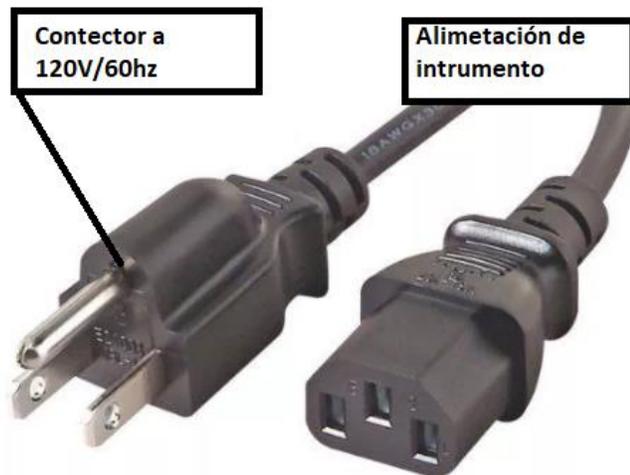


Figura 23. Cable de alimentación del instrumento AC

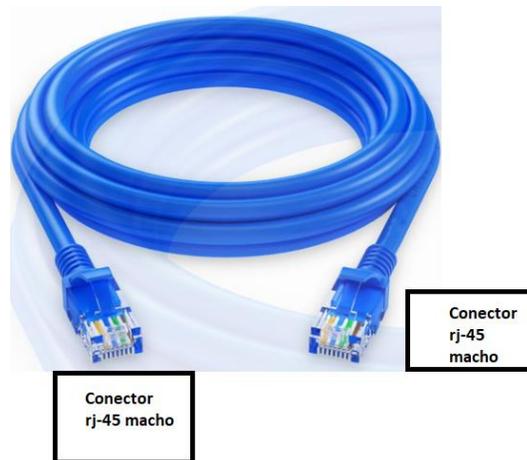


Figura 24. Cable LAN

○ **PC - SPYDER**

El computador implementado para el banco experimental es de tipo escritorio con una torre que cuenta con los siguientes puertos de conexión:

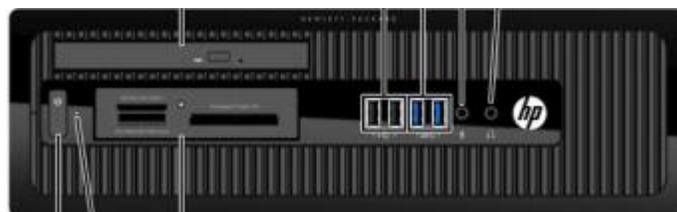


Figura 25. Panel frontal PC

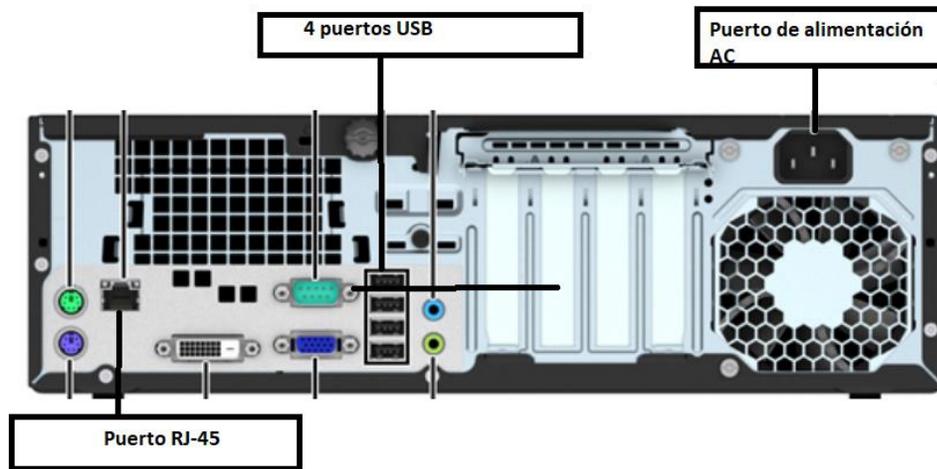


Figura 26. Panel trasero PC

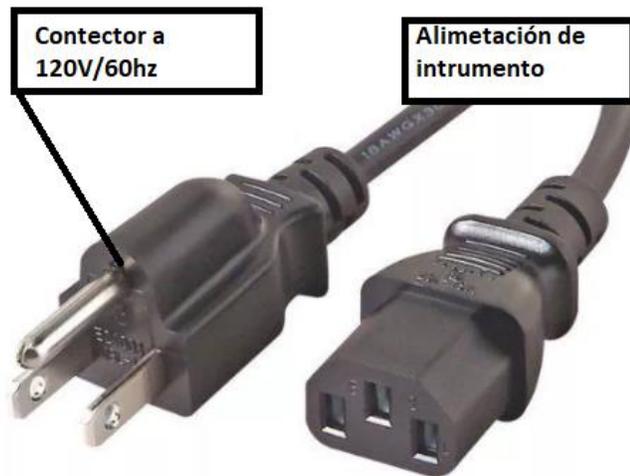


Figura 27. Cable de alimentación del instrumento AC

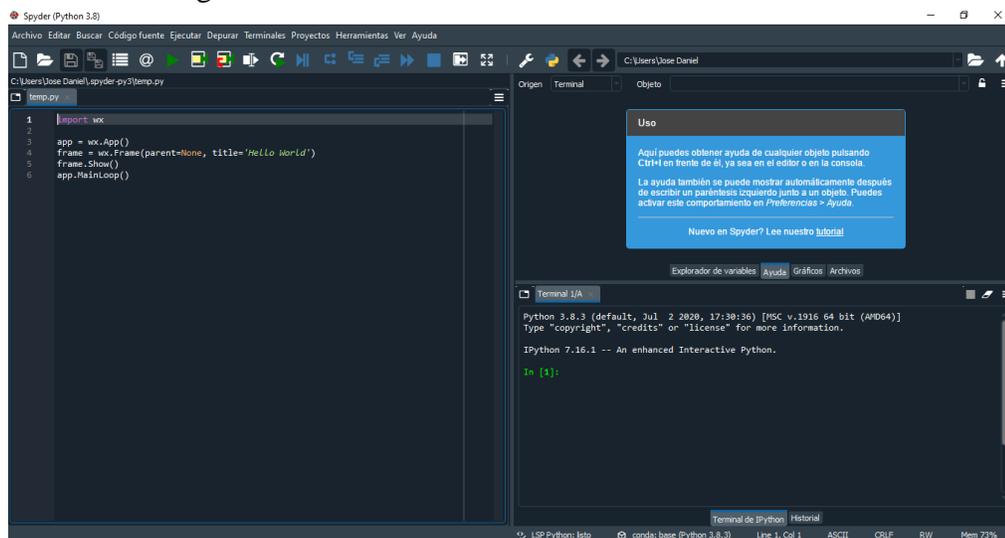


Figura 27. Interfaz gráfica SPYDER

○ **Instalación**

Los equipos y cables del banco experimental deben ser ubicados como lo indica en la siguiente figura.

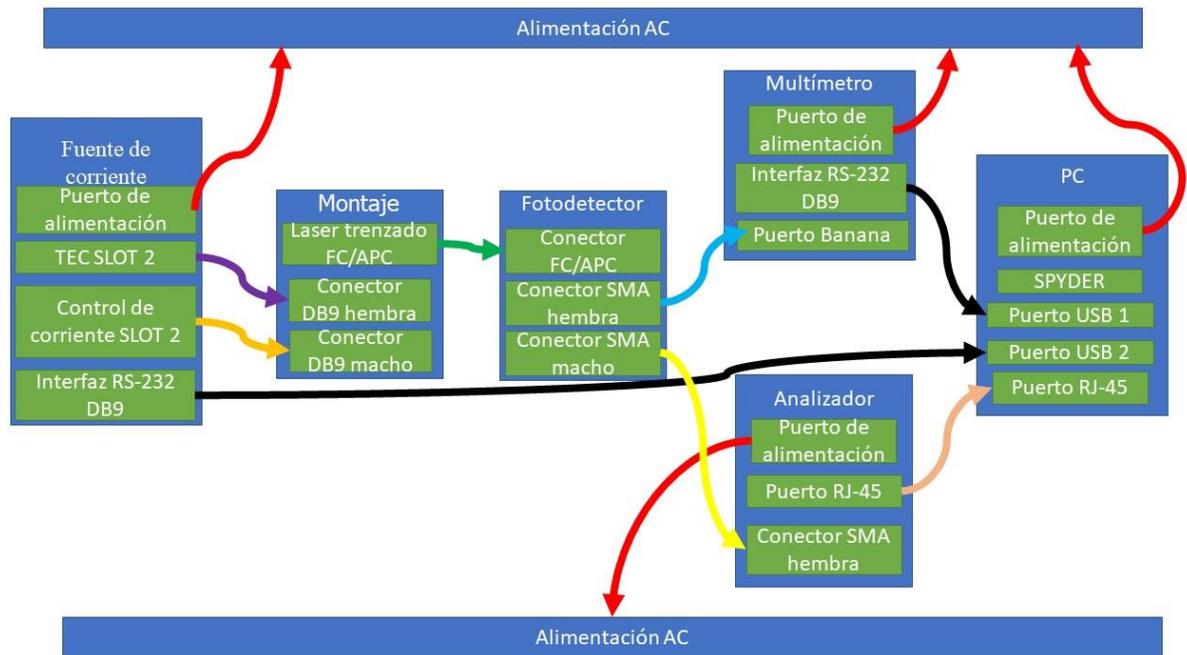


Figura 28. Diagrama de conexión detallado

ítem	Nombre	Color
1	Cable de alimentación	
2	DB15/DB9	
3	DB9/DB9	
4	Cable LAN	
5	SMA/SMA	
6	USB/DB9-RS232	
7	Banana/SMA	

Tabla 3. Leyenda de Figura 28

○ **Configuración del sistema**

Antes de iniciar con las medidas del RIN se debe verificar la conexión establecida entre el PC los siguientes equipos:

- Fuente de corriente
- Multímetro
- Analizador de espectro

Para esto se debe identificar los recursos disponibles en el PC y el nombre de

estos recursos con el siguiente script:

```
import pyvisa
rm = pyvisa.ResourceManager()
print(rm.list_resources())
```

La salida de este script indicaría los nombres de los recursos disponibles. Ejemplo:

```
(u'USB0::0x1313::0x8078::P0023445::INSTR', u'TCPIP0::172.17.75.20::hislip0::INSTR',
u'TCPIP0::172.17.75.20::inst0::INSTR', u'ASRL1::INSTR', u'ASRL3::INSTR', u'ASRL4::INSTR')
```

Para este ejemplo se relacionan los nombres de los recursos disponibles con los componentes de la siguiente forma

- *Fuente de corriente: TCPIP0::172.17.75.20::inst0::INSTR*
- *Multímetro: ASRL3::INSTR*
- *Analizador de espectro: ASRL4::INSTR*

Una vez están identificados y relacionados los recursos disponibles, se debe comprobar la comunicación entre el PC y cada uno de los recursos, para esto se debe tener claro los parámetros de comunicación de cada componente como:

- *Velocidad de Baudios*
- *Bits de datos*
- *Bits de parada*
- *Paridad*
- *Flujo de control*

Y configurar el script para que se ajuste a los parámetros de cada instrumento, en el siguiente script el multímetro y el analizador tienen los parámetros definidos de la misma forma que la configuración por default de Pyvisa, en el caso de la fuente sus parámetros cambien y por lo tanto se deben configurar.

```
import pyvisa
from pyvisa import constants

#Configuracion de comunicacion
rm = pyvisa.ResourceManager()

#Comunicacion multímetro
multímetro = rm.open_resource('ASRL3::INSTR')

#Comunicacion fuente
fuente = rm.open_resource('ASRL4::INSTR')
fuente.baud_rate = 19200
fuente.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL, constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)
fuente.break_lenght = 256

#Comunicacion analizador
fsw = rm.open_resource('TCPIP0::172.17.75.20::inst0::INSTR')

#Identificacion de instrumentos
print (multímetro.query('*IDN?'))
multímetro.read()
print (fuente.query('*IDN?'))
print (fsw.query('*IDN?'))
```

La salida esperada del script anterior es la siguiente:

```
FLUKE, 8808A, 1558015, 2.4 D2.0
THORLABS, PRO800 , 0, Ver.4.65-1.31
Rohde&Schwarz,FSW-43,1331.5003K43/101754,4.60
```

La salida anterior indica la correcta comunicación entre el PC y los componentes del banco experimental, en caso de obtener un error a la salida esto indicaría un problema de comunicación con algún instrumento, sus causas pueden derivarse de una falla en la configuración de los parámetros de comunicación como un desperfecto del cable de comunicación empleado.

○ Código del programa

```
import pyvisa
from pyvisa import constants
import numpy as np
import pandas as pd
import matplotlib.pyplot as plt
import time
import sys

#Variables
gdc = 1000 # Ganancia del puerto DC del fotodetector
r_load = 50 # Resistencia de carga del fotodetector
q = -1.6E-19 # Carga del electron

#Configuración de comunicacion
rm = pyvisa.ResourceManager()

#Comunicación multimetro
multimetro = rm.open_resource('ASRL3::INSTR')
multimetro.timeout = 5000

#Comunicación fuente de corriente
fuente = rm.open_resource('ASRL4::INSTR')
fuente.baud_rate = 19200 #Configuración de velocidad de baudios
fuente.set_visa_attribute(constants.VI_ATTR_ASRL_FLOW_CNTRL,
constants.VI_ASRL_FLOW_RTS_CTS)# Configuración del control de flujo
fuente.break_length = 256
fuente.timeout = 5000

#Comunicación analizador
fsw = rm.open_resource('TCPIP0::172.17.75.20::inst0::INSTR')
fsw.timeout = 5000

#Limitaciones de seguridad
limite_corriente = 0.020 # Limite maximo de corriente
limite_temperatura = 30 # Limite maximo de temperatura
limite_frecuencia_inicio = 0 # Limite minimo para el rango de frecuencias medidas
limite_frecuencia_parada = 15E9 # Limite maximo para el rango de frecuencia medidas

#Identificación de instrumentos
print (multimetro.query('*IDN?'))#Identificación multimetro
multimetro.read()#Vacía datos guardado de la consulta previa y evita fila de tramas
print (fuente.query('*IDN?'))#Identificación fuente de corriente
print (fsw.query('*IDN?'))#Identificación de analizador de espectro

#Ingreso de datos usuario
lectura_manual = raw_input("¿Ha leído y entendido completamente el manual de operaciones del
banco de pruebas? si/no:")
if lectura_manual == 'no' or lectura_manual == '':
    print("Debe leer y entender el manual de operaciones para tener acceso")
    fsw.close()
    fuente.close()
    multimetro.close()
    sys.exit()
```

```

corriente = raw_input('Ingrese corriente de polarizacion en amperios:')
span = raw_input('Ingrese frecuencia de ancho de banda que desea medir:')
start = raw_input('Ingrese frecuencia de inicio:')
stop = raw_input('Ingrese frecuencia final:')
temperatura = raw_input('Ingrese temperatura de laser:')

#Configuración de variables. Convierte los datos recolectados a float para poder hacer
operaciones comparativas
corriente_float = float(corriente)
start_float = float(start)
stop_float = float(stop)
temperatura_float = float(temperatura)

#Verificación de datos

if corriente_float > limite_corriente or corriente == '': # Verifica que la corriente
ingresada sea menor a la corriente maxima de limite
    print('El valor de corriente de polarizacion es inseguro. Cambiar')
    fsw.close()
    fuente.close()
    multimetrometro.close()
    sys.exit()
if (start_float < limite_frecuencia_inicio) or (stop_float > limite_frecuencia_parada) or
stop == '' or start == '':#Verifica que el rango de frecuencias se encuentre dentro de los
limites
    print('Rango de frecuencias no esperado. Cambiar')
    fsw.close()
    fuente.close()
    multimetrometro.close()
    sys.exit()
if temperatura_float > limite_temperatura or temperatura == '': # Verifica que la temperatura
ingresada es menor a la temperatura maxima
    print('Valor de temperatura inseguro. Cambiar')
    fsw.close()
    fuente.close()
    multimetrometro.close()
    sys.exit()

fuente.write(':TEMP:SET '+ temperatura) # Asigna el valor de temperatura a la fuente de
corriente
print(fuente.query(':TEMP:SET?')) # Revisa el valor de temperatura configurado
print(fuente.query(':TEMP:ACT?')) # Revisa el valor actual de temperatura del laser

#Configuración frecuencia FSW
fsw.write('FREQ:SPAN '+ span) # Configura el ancho de banda de medición
fsw.write('FREQ:START '+ start) # Configura la frecuencia de inicio de medición
fsw.write('FREQ:STOP '+ stop) # Configura la frecuencia de parada de medición

#Configuración RBW VBW FSW
fsw.write('BAND:AUTO OFF') # Apaga la autoconfiguración del RBW
fsw.write('BAND 30kHz') # Asigna el valor de RBW
fsw.write('BAND:VID 100Hz') # Asigna el valor de VBW

#Configuración sweep FSW
fsw.write('SENS:SWE:COUNT 10 ') # Asigna el valor de número de barridos
fsw.write('SENS:SWE:TIME 8') # Asigna el valor de tiempo de barrido

rbw_string = fsw.query('BAND?') # Consulta y guarda el valor de RBW
rbw = float(rbw_string) # Convierte la variable a float

#Imprime los parámetros configurados
print (fsw.query('FREQ:CENT?'))
print (fsw.query('FREQ:SPAN?'))
print (fsw.query('BAND?'))
print (fsw.query('BAND:TYPE?'))
print (fsw.query('SENS:SWE:COUN?'))
print (fsw.query('SENS:SWE:TIME?'))

medidas = 0 # variable de número de repeticiones de medida

```

```

while medidas < 1: # Ciclo de repeticion de medidas. 1 ejecutara una medida. 2 ejecutara 2
medidas continuas con los mismos parametros. 3 ejecutara 3 medidas ...
    medidas +=1 # Contador del ciclo

    #Inicialización de variables
    datos_setup_fsw = []
    datos_sys_fsw = []
    rin = []

    #Inicio de medida para parametros del sistema apagado
    fsw.write(':INIT;WAI*')
    time.sleep(40)# Timpo de espera para obtener el barrido completo

    #Recoleccion de datos para parametros del sistema apagado
    potencia_setup_db = fsw.query('TRAC:DATA? TRACE1') # Datos eje Y
    frecuencia_setup = fsw.query('TRAC:DATA:X? TRACE1') # Datos eje Y

    #Configuracion de variables RIN de sistema apagado
    lista_potencia_setup_fsw = potencia_setup_db.split(',') # Separacion de datos por ","
dentro de una lista
    lista_frecuencia_setup = frecuencia_setup.split(',') # Separacion de datos por ","
dentro de una lista
    datos_setup_fsw = np.array([lista_potencia_setup_fsw,lista_frecuencia_setup]) # Creacion
de un array de 2D con los datos del eje X y Y
    datos_setup_fsw_float = datos_setup_fsw.astype(float) # Conversion del arreglo a float

    #Calculo para parametros del sistema apagado = Ruido termico del sistema
    potencia_setup_fsw_watts = (10**(datos_setup_fsw_float[0,:]/10.))*0.001 # Conversión de
los datos del eje Y de dB a Watts
    delta_setup = (potencia_setup_fsw_watts/rbw) # Escalamiento de la potencia medida
dividiendo su valor entre el valor del filtro RBW

    #Abortar medida RIN de sistema apagado
    fsw.write(':ABOR') # Fin de las medidas del sistema apagado
    time.sleep(1)

    #Configuracion laser
    fuente.write(':SLOT 2') # Selección de SLOT
    fuente.write(':ILD:SET ' + corriente) # Configuración de corriente de polarizacion del
laser
    fuente.write(':TEC ON') # Control de temperatura encendido
    fuente.write(':LASER ON') # Laser encendido
    time.sleep(2) # Tiempo de espera, para estabilizar la corriente del laser
    print (fuente.query(':LASER?')) # Verificacion del estado del laser

    #Inicio de medida del sistema encendido = Ruido total del sistema y ruido de disparo
    fsw.write(':INIT;WAI*')
    time.sleep(60)

    #Recoleccion de datos del sistema encendido
    potencia_sys_db = fsw.query('TRAC:DATA? TRACE1')
    frecuencia_sys = fsw.query('TRAC:DATA:X? TRACE1')
    voltaje_sys = multmetro.query('VAL1?')
    multmetro.read()

    #Laser apagado
    fuente.write(':LASER OFF')
    fuente.write(':TEC OFF')
    print (fuente.query(':LASER?'))

    #Configuracion de variables del sistema encendido
    lista_sys_potencia_fsw = potencia_sys_db.split(',')
    lista_sys_frecuencia = frecuencia_sys.split(',')
    datos_sys_fsw = np.array([lista_sys_potencia_fsw,lista_sys_frecuencia])
    datos_sys_fsw_float = datos_sys_fsw.astype(float)
    voltaje_sys_float = float(voltaje_sys)

    #Calculo de parametros del sistema encendido
    # Ruido total del sistema
    potencia_sys_fsw_watts = (10**(datos_sys_fsw_float[0,:]/10))*0.001

```

```

delta_sys = (potencia_sys_fsw_watts/rbw) # ruido total del sistema
#Ruido de disparo
n_shot = r_load*2*q*(voltaje_sys_float/gdc)
#Potencia electrica promedio
pot_elec_prom = r_load*(voltaje_sys_float/gdc)**2
#Calculo del RIN del laser
rin_laser_watts = ((delta_sys-delta_setup)-(n_shot))/(pot_elec_prom) # RIN en unidades
de watts
rin_laser_db = 10.*np.log10(rin_laser_watts) # RIN en unidades de DB/Hz
rin = np.array([rin_laser_db, datos_sys_fsw_float[1,:]]) # Arreglo de 2D con RIN vs
frecuencia

#Grafico del RIN
plt.figure()
plt.plot(rin[1,:],rin[0,:], label = 'RIN')
plt.legend(loc='upper left')
plt.show()

#Creacion de archivo excel
titulo_excel = {'Potencia': rin[0,:], 'Frecuencia': rin[1,:]}
df = pd.DataFrame(titulo_excel, columns = ['Potencia','Frecuencia'])
df.to_excel('rin'+str(medidas)+'_fgh.xlsx')
print (medidas)

#Clausura de sesiones de comunicacion
fsw.close()
fuente.close()
multimetro.close()

```

○ Inicio del sistema

- Nombre de archivo y numero de medidas
- Numero de medidas

El número de comparación para este ciclo indica el número de medidas continuas por realizar, para la mayoría de los usos su valor debería ser seleccionado igual a 1, en caso de hacer mediciones repetitivas con los mismos parámetros con el fin de verificar la confiabilidad del sistema este valor se puede modificar

```
while medidas < 1
```

Para esta sección del código se indica el nombre del archivo Excel que será generado para este ejemplo nombre del archivo será “rin1.xlsx”

```
df.to_excel('rin'+str(medidas)+'_fgh.xlsx')
```

- Límites del sistema

Una vez la comunicación de lo equipos del sistema ha sido verificada se continua con la definición de las variables de protección y medida del sistema, para este caso se debe modificar el programa internamente. Las variables para modificar son las siguientes:

```

gdc = 1000
r_load = 50
limite_corriente = 0.020
limite_temperatura = 30
limite_frecuencia_inicio = 0
limite_frecuencia_parada = 15E9

```

- *gdc = Ganancia del puerto “bias monitor” del fotodetector V/A*
- *r_load = Impedancia de salida del fotodetector*
- *limite_corriente = Corriente máxima del láser bajo prueba en amperios*
- *limite_temperatura = Temperatura máxima del láser bajo prueba en*

grados celcius

- *limite_frecuencia_inicio = Mínima frecuencia permitida para medir el RIN*
- *limite_frecuencia_parada = Maxima frecuencia permitida para medir el RIN*

Estas variables deben ser definidas de acuerdo con la hoja de datos del láser implementado (límite de corriente, límite de temperatura), la hoja de datos del fotodetector (Ganancia del puerto “bias monitor” e impedancia de salida) y los criterios de medida del usuario (límite de frecuencias).

Para el dar inicio a la medición del RIN para el láser bajo prueba se deberá ejecutar el archivo que contiene el script de medición en la terminal de anaconda de la siguiente forma.

- **Uso del sistema**

○ **Instrucciones**

Para comenzar con la medición del RIN se deben seguir los siguientes pasos

1. Abra la terminal de comandos de anaconda

```
(C:\ProgramData\Anaconda2) C:\Users\cmun>
```

2. Cambie el directorio a la carpeta donde se encuentra el programa

```
(C:\ProgramData\Anaconda2) C:\Users\cmun>cd C:\Users\cmun\Documents\rin
```

3. Ejecute el programa “nombre_programa_rin.py” de la siguiente forma

```
(C:\ProgramData\Anaconda2) C:\Users\cmun\Documents\rin>python nombre_programa_rin.py
```

4. Al ejecutar el programa este comenzara solicitando la siguiente información:

- a. En esta primera consulta el programa verifica que el usuario ha leído en las repuesta validas únicamente son: “si” y “no” cualquier otra repuesta no seria valida.

```
¿Ha leído y entendido complemente el manual de operaciones del banco de pruebas? si/no: si
```

- b. La siguiente consulta tiene que ver con la corriente que se desea polarizar el laser para este caso el programa solo aceptara valores numéricos y las unidades se encuentran en amperios, lo que quiere decir que en el ejemplo 0.002 es igual a 0.002A o 2mA.

```
Ingrese corriente de polarización en amperios:0.002
```

- c. Para el caso de la configuración de los parámetros de frecuencia su valor tiene unidades de Hertz y pueden ser escritos en forma estándar o científica

```
Ingrese frecuencia de ancho de banda que desea medir:15e9
```

```
Ingrese frecuencia de inicio:0
```

```
Ingrese frecuencia final:15e9
```

- d. El valor de la temperatura del laser será indicado en unidades de grados Celsius.

```
Ingrese temperatura de laser:20
```

5. Después de 3 minutos el sistema generará un archivo Excel dentro de la misma carpeta donde se encuentra el programa en formato .xlsx con el valor

de RIN calculado en dB/Hz para cada valor de frecuencia dentro del rango seleccionado y un grafica de línea que demuestra la curva del RIN medido de la siguiente forma:

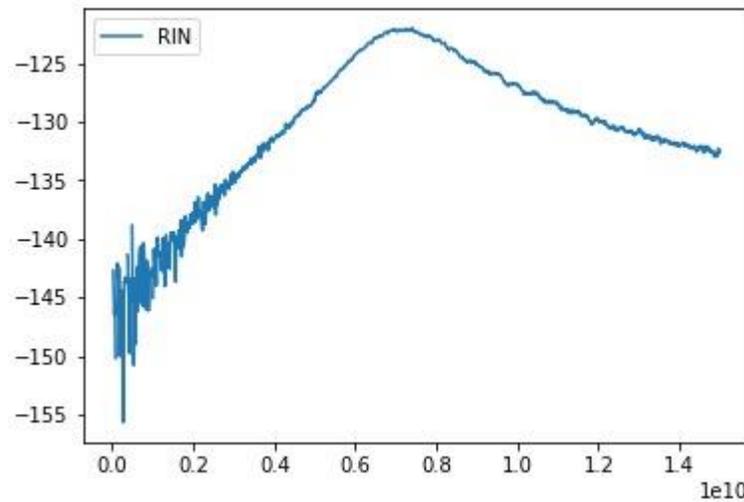


Figura 29. Salida de la medición del programa RIN



23/11/2020 11:05 p. m.

Hoja de cálculo d...

38 KB

Figura 30. Archivo creado con los datos de medición del RIN

	Potencia	Frecuencia
0	-149,44	7492507
1	-152,184	22477522
2	-152,963	37462537
3	-152,08	52447552
4	-153,278	67432567
5	-151,131	82417582
6	-151,512	97402597
7	-152,038	1,12E+08
8	-152,709	1,27E+08
9	-153,9	1,42E+08
10	-153,922	1,57E+08
11	-152,979	1,72E+08

Figura 31. Ejemplo de datos almacenados de la medida del RIN

Por último, para finalizar el programa ejecutado se debe cerrar la figura del RIN que se obtuvo como salida.

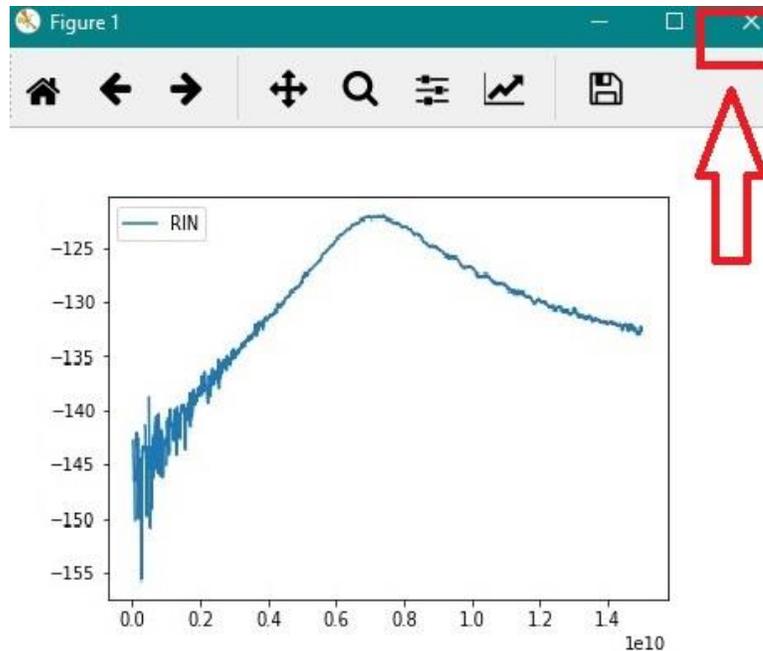


Figura 32. Finalización del programa

○ Mensaje de error

1. *Este mensaje de error indica que le usuario no tiene el suficiente conocimiento para ejecutar el programa de medición del RIN, para superar este mensaje el usuario debe leer el manual de operación y responder a la pregunta de “¿Ha leído y entendido completamente el manual de operaciones del banco de pruebas? si/no:” con un “si”*

Debe leer y entender el manual de operaciones para tener acceso

2. *Es mensaje indica que el usuario está ingresando un corriente que supera el máximo de corriente de operación del láser que fue configurado previamente. Para solucionar este aviso el usuario debe utilizar un corriente menor a la corriente máxima, en caso de haber cambiado el láser de prueba deberá configurar el sistema nuevamente.*

El valor de corriente de polarización es inseguro. Cambiar

3. *Este error indica al usuario que el rango de frecuencia no es el esperado, por lo que el usuario debe verificar que el rango de frecuencia se encuentre dentro de los límites especificados en la configuración del sistema.*

Rango de frecuencias no esperado. Cambiar

4. *Es mensaje indica que el usuario está ingresando una temperatura que supera el máximo de temperatura de operación del láser que fue configurado previamente. Para solucionar este aviso el usuario debe utilizar una temperatura menor a la temperatura máxima, en caso de haber cambiado el láser de prueba deberá configurar el sistema nuevamente con los nuevos parámetros del láser.*

Valor de temperatura inseguro. Cambiar

- **Sistema de gestión**

- **Gestión de cambio**

El script empleado para la medición del RIN puede ser mejorado mediante la adición de parámetros de configuración que permitan al usuario tener una amplia interfaz de configuración. Los comandos SCPI empleados para este tipo de configuraciones deben ser tomados de los manuales de usuario de cada equipo que se quiera modificar.

- **Gestión de configuración**

La configuración del sistema debe ser de acuerdo con la hoja de datos del láser bajo prueba, la hoja de datos del fotodetector empleado y de los criterios de medición del usuario. Esta configuración debe ser realizada cada vez se cambia el láser bajo prueba.

- **Gestión de versiones**

Las versiones de software y librerías soportados por el sistema son:

- *Pyvisa: 1.9.1*
- *Python: 2.7.14*
- *Numpy: 1.13.3*
- *Pandas: 0.20.3*

- **Administración de seguridad**

Para una implementación segura de banco experimental el usuario debe seguir las recomendaciones descritas a lo largo de este manual.