



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SAN LUIS POTOSÍ

FACULTAD DE CIENCIAS

Sistema de automatización para sondas ópticas

TESIS

para obtener el grado de

Ingeniero Físico

Que presenta

Gabriel Adonai Martínez Zepeda

Asesor: Dr. Raúl Eduardo Balderas Navarro

MARZO 2020

San Luis Potosí, San Luis Potosí

Formato de Autorización para la Impresión Final de la Tesis, Facultad de Ciencias,
UASLP



FORMATO DE AUTORIZACIÓN PARA LA IMPRESIÓN FINAL DE LA TESIS

SECRETARIA GENERAL

FACULTAD DE CIENCIAS

Nombre: Gabriel Adonai Martínez Zepeda

Clave: 0252263

Fecha: 17-11-20

Carrera: Ingeniería Física

Especialidad: _____

Generación: 2015

Título de la Tesis:
Sistema de automatización para sondas ópticas

Asesor: Dr. Raúl E. Balderas Navarro

Adscripción del Asesor: Instituto de Investigación en comunicación Óptica.

SINODALES ASIGNADOS

Presidente: Dr. Raúl Eduardo Balderas Navarro

Secretario: Dr. Marcela Mejía Carlos

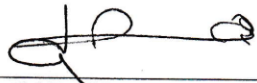
*Formato de Autorización para la Impresión Final de la Tesis, Facultad de Ciencias,
UASLP*

Vocal: Dr. Gustavo Ramírez Flores

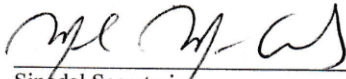
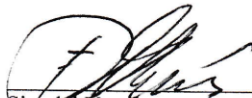

Suplente: Dr. Victor Hugo Compeán Tasso.

Por medio de la presente atestiguamos que después de leer el documento de tesis
puesto a nuestra consideración, no tenemos recomendaciones o sugerencias a su
contenido y damos nuestra aprobación para que se impriman las versiones finales
del mismo.

Firmas:

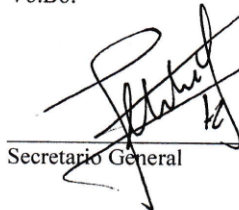


Sinodal Presidente


Sinodal Secretario
Sinodal Vocal

Sinodal Suplente

Vo.Bo.


Secretario General

**SECRETARIA
GENERAL**

Para los que me han apoyado en mi preparación

Agradecimientos

Este trabajo no sería posible sin el apoyo, los comentarios del asesor de este trabajo, el Doctor Raúl Balderas; así mismo agradezco las ideas para este trabajo que me proporcionaron los Doctores Edgar Cerda Méndez, Osvaldo del Pozo Zamudio y el Maestro en Ciencias Francisco Rocha Reina. El excelente apoyo técnico del Sr. Esequiel Ontiveros Hernández fue decisivo.

A los sinodales de este trabajo por sus valiosos comentarios.

Al instituto de investigación en Comunicación Óptica de la UASLP por las instalaciones utilizadas.

Tabla de contenidos

1. Introducción.....	10
2. Montaje Experimental.....	15
2.1. Montaje óptico y electrónico	15
2.2. Breve descripción de los dispositivos que serán automatizados	17
3. Desarrollo del software de control	25
3.1. Algoritmo de funcionamiento del programa de control.....	25
3.2. Implementación en LabVIEW	29
3.2.1. Interfaz Gráfica del programa de control	29
3.2.2. SubVís para el control de la secuencia de ejecución de los dispositivos	35
3.2.3. SubVís de control de los dispositivos.....	41
3.2.4. SubVís para el guardado de datos	56
4. Ejemplos de uso del software de control	61
4.1. Mapeos con el láser	61
4.2. Curvas I-V	62
4.3. Implementación de una secuencia de medición con varios dispositivos de adquisición.....	63
5. Conclusiones.....	65
6. Referencias	66

Lista de figuras

Figura 1. 1: Montaje experimental utilizado por John Kerr. [2]	10
Figura 1. 2: Configuraciones para el efecto Kerr. [3]	11
Figura 1. 3: Gráfica de elipticidad de Kerr en función de la magnetización en una película de Fe. [4]	12
Figura 1. 4: Montaje experimental para medir efecto Kerr. [6]	13
Figura 1. 5: Ejemplo de un sistema de microscopía magneto óptica que utiliza el efecto Kerr magneto óptico. [6]	13
Figura 2. 1: Montaje óptico del sistema de microscopia de efecto Kerr magneto óptico.	15
Figura 2. 2: Espejos galvanométricos GSV012. [9]	18
Figura 2. 3: Circuito controlador de los espejos galvanométricos. [9]	19
Figura 2. 4: Montura rotatoria K10CR1. [12]	20
Figura 2. 5: Control .Net para el dispositivo K10CR1. [12]	21
Figura 2. 6: Consola del Potenciómetro PM100A. [14]	21
Figura 2. 7: Amplificador Lock in SR510. [15]	22
Figura 2. 8: Multímetro Keithley 199 DMM.	23
Figura 2. 9: Cámara DCC1645C de Thorlabs. [18]	24
Figura 2. 10: Espectrómetro Ocean Optics USB4000. [19]	24
Figura 3. 1: Diagrama de flujo del programa de control.	25
Figura 3. 2: Creación del arreglo que indica el orden de ejecución de los dispositivos en la máquina de estados.	26
Figura 3. 3: Diagrama de flujo de la máquina de estados.	27
Figura 3. 4: Procedimiento para guardar los datos generados por el sistema. a) para dispositivos que sólo generan un dato cada iteración, b) para dispositivos que generan un arreglo bidimensional cada iteración.	29
Figura 3. 5: Interfaz gráfica del programa de control.	30
Figura 3. 6: Interfaz utilizada para seleccionar y configurar los dispositivos que se utilizarán en el experimento.	32
Figura 3. 7: Ejemplificación de la forma en la que se crea el arreglo que contiene los dispositivos y sus respectivos parámetros. El nombre del dispositivo ocupe la primera columna y el resto de las columnas en la misma fila son ocupadas por los parámetros del dispositivo.	34
Figura 3. 8: Diagrama de flujo del subVI que permite seleccionar y configurar los dispositivos.	35
Figura 3. 9: Diagrama que representa la estructura en LabVIEW que controla el sistema. ...	37
Figura 3. 10: Algoritmo del subVI creadorOrden.	38
Figura 3. 11: Algoritmo del subVI conector2.	39
Figura 3. 12: Diagrama de flujo del algoritmo del subVI corr.	40
Figura 3. 13: Diagrama de flujo del subVI Localizador.	41
Figura 3. 14: Cluster correspondiente a los espejos galvanométricos.	42
Figura 3. 15: Algoritmo del subVI intervaloespejo.	43

Figura 3. 16:Diagrama de flujo del subVI controlespejos.	44
Figura 3. 17: Clúster para el control de la fuente de corriente y voltaje.	44
Figura 3. 18: Diagrama de flujo del subVI intervalo.	45
Figura 3. 19: Algoritmo para el subVI controlvoltaje.	47
Figura 3. 20: Algoritmo del subVI pol2.	48
Figura 3. 21: Diagrama de la máquina de estados del subVI itc4000.	50
Figura 3. 22: Clúster de la configuración del fotodiodo y potenciómetro.	51
Figura 3. 23: Diagrama de flujo del funcionamiento del subVI controllockin.	52
Figura 3. 24: Clúster que muestra los parámetros para el estado "CCD".	53
Figura 3. 25: Diagrama de flujo del subVI utilizado para controlar la cámara.	54
Figura 3. 26: Diagrama de flujo del subVI espectroCCD.	55
Figura 3. 27: Diagrama de flujo del subVI Indices.	57

Figura 4. 1: Imagen de la sección de la muestra utilizada en los experimentos descritos en este capítulo.	61
Figura 4. 2: Imágenes que muestran los mapeos realizados a diferentes intervalos en la muestra a. 35 micras, b. 21 micras y c. 7 micras.	62
Figura 4. 3: Mediciones que se almacenaron en la prueba de corriente-voltaje.	63
Figura 4. 4: imagen del programa HDFView, utilizado para visualizar los archivos HDF5.	64
Figura 4. 5: gráficas de las lecturas del amplificador lock in en función del voltaje aplicado, obtenidas en dos distintas posiciones de la montura rotatoria, a. 0° b. 10°.	64

Resumen

Se logró desarrollar rutinas de software en instrumentación virtual con el fin de automatizar sondas ópticas como el que se cuenta en el laboratorio de Espectroscopía III del Instituto de Investigación en Comunicación Óptica, el cual se utiliza en gran medida para realizar mediciones de reflectancia modulada y efecto Kerr. Dicho programa está realizado de tal forma que permite al usuario controlar más parámetros que los programas similares con los que cuenta el instituto, tales como permitir al usuario que dispositivos desea utilizar y el orden el que el software los manipulará, además de controlar sus parámetros de operación. Esta flexibilidad permite al usuario poder realizar otro tipo de experimentos con este sistema, tales como mediciones de reflectancia, medidas de corriente-voltaje en muestras o incluso fotoluminiscencia y fotorreflectancia en modo excitación.

Este programa permite ser modificado sin invertir mucho tiempo , debido a que su “núcleo” es una máquina de estados, la cual contiene los subVIs que controlan los dispositivos del sistema y a la cual se le pueden agregar o eliminar estados fácilmente, y sólo se necesita modificar las opciones que puede tomar el arreglo que controla esta máquina y los subVIs que procesan las opciones de operación de los dispositivos, para poder así agregar o eliminar un aparato a este programa.

Para almacenar la información se utilizaron archivos HDF5, los cuales permiten almacenar grandes cantidades de información en un solo archivo de forma ordenada, en el software desarrollado se crean arreglos multidimensionales para facilitar el procesamiento de la información obtenida durante cualquier experimento realizado en el sistema.

Como trabajo futuro se tiene pensado incluirle subrutinas en Python y Lenguaje C, a fin de realizar operaciones a mayor velocidad y capacidad de manejo de datos. Finalmente, se espera que con este trabajo se estimule la portabilidad y automatización unificada de un número de laboratorios del IICO.

1. Introducción

En el presente trabajo se expone la automatización de un sistema de microscopía óptica, el cual tiene como principal objetivo el ser utilizado en microscopía de efecto Kerr magnetoóptico.

El efecto Kerr magneto óptico, el cual fue descubierto por John Kerr cuando examinaba la polarización de la luz al ser reflejado por una superficie pulida inmersa en un campo magnético [1], Kerr utilizó el montaje que se muestra en la figura 1.1, el cual consiste en una fuente de luz y se le coloca un polarizador Nicol, la luz polarizada linealmente incide en un imán con forma de herradura, muy usados en aquella época, después se colocó un segundo polarizador Nicol con el fin de que funcionara como un analizador y al final se colocó una pantalla. [2]

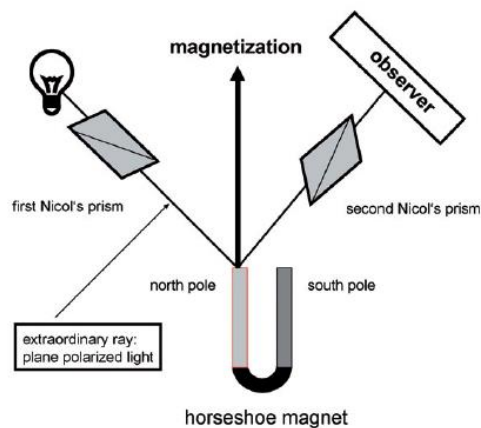


Figura 1. 1: Montaje experimental utilizado por John Kerr. [2]

Kerr pudo observar que el estado de polarización del haz reflejado rotaba en comparación del haz incidente y se generaba un estado de polarización elíptico. [1]

Existen tres configuraciones para el efecto Kerr: el efecto Kerr polar, longitudinal y transversal. [3] En la figura 1.2 se muestran las tres configuraciones para este efecto,

en donde se muestra cómo se orienta la magnetización con respecto al plano de incidencia de la luz.

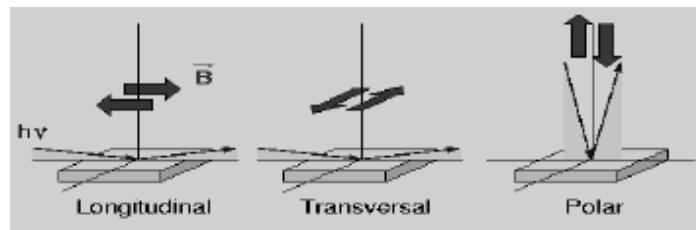


Figura 1. 2:Configuraciones para el efecto Kerr.
[3]

El efecto Kerr transversal es aquel en el que la magnetización es paralela al plano de la muestra y perpendicular al plano de incidencia de la luz, en el caso longitudinal es paralela tanto al plano de la muestra como al plano de incidencia y en la configuración polar es perpendicular al plano de la muestra y paralela al plano de incidencia. [3]

Dos parámetros de gran importancia en la medición de espectroscopías basadas en este efecto son el ángulo y la elipticidad de Kerr. [4] El ángulo de Kerr indica la parte real de la razón entre las componentes s y p del campo eléctrico incidente, la parte imaginaria nos muestra la elipticidad de Kerr. [4]

El efecto Kerr puede ser utilizado para la caracterización de materiales magnéticos, de los cuales se puede obtener un ciclo de histéresis. [1] También se puede utilizar en la caracterización de películas delgadas de materiales ferromagnéticos, para este caso se lo conoce como efecto Kerr magneto óptico superficial [4]. Así mismo se utiliza para poder obtener imágenes de dominios magnéticos y para el guardado de información opto-magnético. [5]

En la figura 1.3 se muestra un ejemplo de una medición de este efecto y en donde se puede observar que se está graficando la elipticidad de Kerr en función de la magnetización en la muestra.

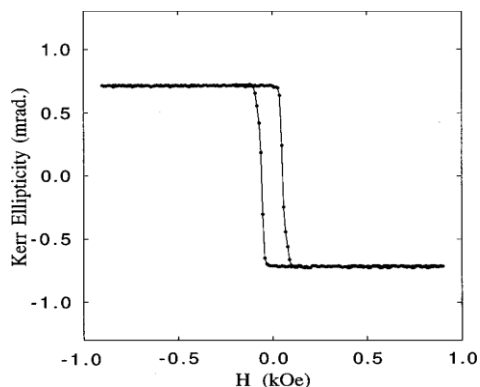


Figura 1. 3: Gráfica de elipticidad de Kerr en función de la magnetización en una película de Fe. [4]

En principio medir el efecto Kerr magnetoóptico es sencillo, esencialmente se necesita una fuente de luz coherente, un polarizador, un analizador y un detector, la finalidad del montaje óptico es reflejar en la muestra un haz de luz polarizada p y medir la componente s del haz reflejado para obtener la rotación Kerr [4], para obtener la elipticidad se coloca un retardador de $\frac{\lambda}{4}$, como se explica en el artículo de Z.Q. qiu llamado “Surface Magneto optical Kerr Effect” (Efecto Kerr magneto óptico superficial).

Cuando se desea medir el efecto Kerr generalmente se trabaja con señales muy pequeñas, por ejemplo, la rotación Kerr generalmente es de 0.01° y la elipticidad de 10^{-4} , por lo tanto, se necesitan técnicas para poder medir de forma adecuada el efecto Kerr. [6]

En el caso del presente proyecto, se está trabajando con un montaje óptico diseñado para medir el efecto Kerr en las tres configuraciones descritas anteriormente.

Para el caso de la configuración longitudinal, se utiliza la configuración de detección directa, la cual es la más sencilla de realizar [6], el esquema de esta configuración se muestra en la figura 1.4, en la que se observan los elementos necesarios para su funcionamiento, el montaje óptico consiste en un láser, posteriormente el haz incide en un polarizador, esto para poder hacer incidir la polarización p en la muestra, después del polarizador se utiliza una lente para enfocar el haz en la muestra, posteriormente la luz reflejada pasa por un analizador y finalmente por un detector,

dado que la señal es muy pequeña, entonces esta se tiene que amplificar para poder ser procesada de forma correcta. Con el fin de poder reducir la saturación del detector y el nivel de ruido se coloca el analizador cruzado con respecto al primer polarizador. Este sistema es insensible a la dirección de magnetización de la muestra. [6]

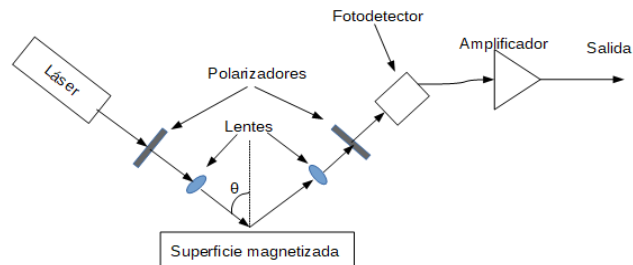


Figura 1. 4: Montaje experimental para medir efecto Kerr.

La técnica para obtener imágenes de dominios magnético se le conoce como microscopía magneto óptica, esta puede ser realizada de dos formas, de imágenes instantáneas y por medio de scanners, para el caso de un sistema de imagen instantánea, el montaje óptico es similar a un microscopio polarizante, los cuales se equipan con cámaras CCD. En la figura 1.5 se muestra un ejemplo de este. [6]

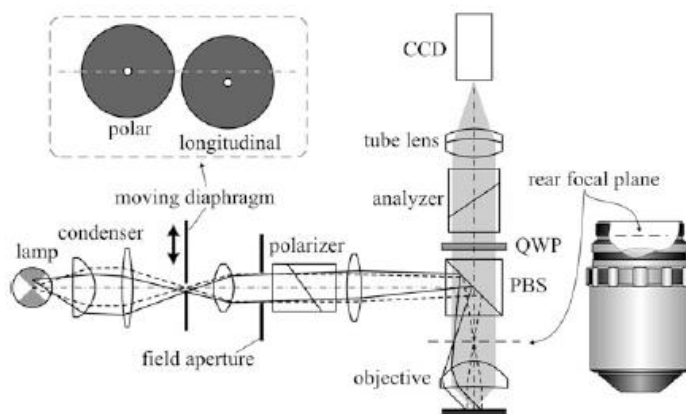


Figura 1. 5: Ejemplo de un sistema de microscopía magneto óptica que utiliza el efecto Kerr magneto óptico. [6]

Cuando la magnetización en el plano de la muestra es importante, entonces el sistema de iluminación magnifica el efecto Kerr longitudinal. Cuando la componente normal al plano de la superficie es la mas importante, entonces se magnifica el efecto Kerr polar, la cual tiene como inconveniente que se pierde toda la información de la dirección de magnetización. [6]

En microscopios de escaneo esencialmente se escanea la muestra con un haz de luz y se realiza la adquisición de la información de forma igual a la de un sistema de medición de efecto Kerr convencional, la principal desventaja de este sistema con respecto a los sistemas que pueden formar imágenes instantáneas es la velocidad de adquisición de los datos. [6]

En el instituto de investigación en comunicación óptica se ha desarrollado un sistema de microscopía de efecto Kerr magneto óptico, el cual será explicado en el siguiente capítulo, para el cual hacía falta desarrollar un programa para controlar todo el sistema.

El principal objetivo de este trabajo es el desarrollar el software necesario para poder controlar este sistema, el cual tendrá como principales características el proporcionar al usuario la libertad de seleccionar que dispositivos y en qué orden se tienen que ejecutar además de seleccionar los parámetros de medición, esto permitirá realizar experimentos en los que no se necesite utilizar todos los dispositivos electrónicos con los que cuenta el sistema, esto permite que se puedan realizar otros experimentos además del efecto Kerr como lo son hacer mediciones de corriente-voltaje, medir reflectancia en las muestras, entre otros. Así mismo se busca implementar una rutina para guardar los datos en archivos HDF5, los cuales permiten guardar y organizar grandes cantidades de datos en un solo archivo [7], por lo tanto, este tipo de archivo tiene muchas ventajas con respecto a los archivos de texto que usualmente se utilizan en el instituto para guardar datos.

El programa se desarrolló en LabVIEW, el cual es un lenguaje de programación visual el cual facilita la adquisición de datos provenientes de los dispositivos electrónicos del sistema [8] ya que todos los dispositivos electrónicos del sistema cuentan con librerías para poder ser utilizados por LabVIEW lo que facilita considerablemente la programación realizada.

2. Montaje Experimental

En el presente capítulo se expone el montaje óptico y electrónico del sistema de microscopía de efecto Kerr, se explica también el sistema electrónico que se utiliza en el montaje además de mencionar su función en éste.

2.1. Montaje óptico y electrónico

El montaje experimental se muestra en la figura 2.1, el cual consiste en 3 brazos en los que se colocan los dispositivos ópticos y electrónicos. En el primer brazo se colocan los dispositivos que son necesarios para polarizar la luz y moverla en la muestra, en el segundo brazo se colocan los dispositivos necesarios para realizar mediciones de efecto Kerr polar y también para posicionar las puntas en la muestra de forma adecuada, además permite la colocación de un espectrómetro de rejilla para medir la reflectancia de muestras. En el tercer brazo se colocan los dispositivos necesarios para la adquisición de la información.

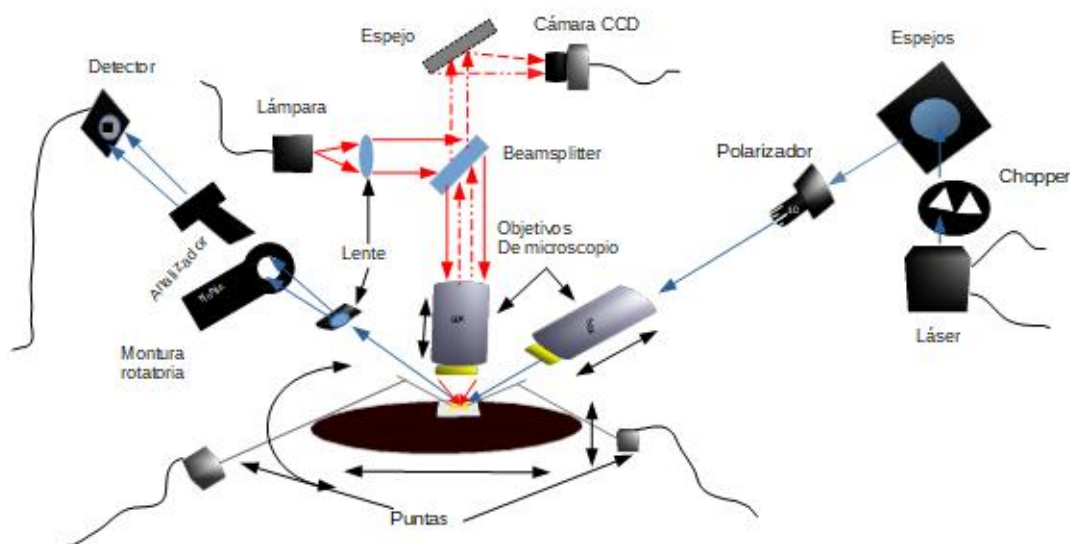


Figura 2. 1: Montaje óptico del sistema de microscopía de efecto Kerr magneto óptico.

Como se observa en la figura 2.1, la muestra se coloca en una base que se puede rotar y desplazarse en dos direcciones, esto es importante para poder mover finamente la muestra.

La función de los dispositivos que se utilizan en el sistema se explica a continuación: El dispositivo que tiene gran relevancia en el sistema es el láser, ya que es el dispositivo que nos generará la señal del efecto Kerr, se puede utilizar distintos tipos de láser en este sistema, aunque de preferencia se sugiere que el láser que se utilice sea uno que sea estable en la intensidad de la luz que emite, ya que de no ser así la medición tendrá una gran cantidad de ruido.

El chopper se utiliza para modular la luz del láser, esto es de gran relevancia para la detección de la señal debido a que se utiliza un amplificador Lock in y por lo tanto es necesario generar una señal modulada por una señal de referencia.

Los espejos galvanométricos son necesarios para mover distancias muy pequeñas el láser sobre la muestra y de esta forma se puedan generar mapeos, además de que su uso es necesario para la alineación del sistema porque permite ajustar la posición del láser de manera muy precisa.

Los dos polarizadores que se usan en el sistema, el primero se utiliza para ajustar la polarización lineal del láser y el segundo funge como analizador, éste por lo normal se encuentra cruzado con respecto al primer polarizador, aunque también puede rotar con ayuda de una montura rotatoria proporcionada por Thorlabs™, el cual se puede controlar desde la computadora a través de un software llamado Kinesis proporcionado por la misma compañía.

Las lentes que se utilizan en el sistema tienen como función colimar el haz de la lámpara del segundo brazo y también del haz reflejado por la muestra.

Las puntas son una parte fundamental del sistema ya que son necesarias para aplicar un voltaje a las muestras y de esta forma se pueda generar una señal de efecto Kerr. Los objetivos de microscopio son necesarios para enfocar la luz en un spot pequeño o para amplificar la imagen de la muestra para que pueda ser observada por la cámara. La cámara CCD tiene dos funciones principalmente, la primera es ayudar en el proceso de alineación ya que, al proporcionar una imagen de la muestra, es de gran ayuda en

el proceso de colocación de las puntas, además de que también permite observar el lugar en donde se encuentra el spot del láser para realizar ajustes en su posición en caso de ser necesario. La segunda función es adquirir las imágenes cuando se realizan mapeos con el láser en la muestra y cuando se desea adquirir una imagen de efecto Kerr polar.

También es posible colocar un espectrómetro de rejilla en el segundo brazo, para este caso se utiliza un espectrómetro “Ocean Optics”.

La detección de la luz se logra con un fotodiodo que se coloca después del analizador, la señal que sale de éste es posteriormente leída por un multímetro y por un amplificador Lock in y posteriormente se envía a la computadora. También se puede colocar un potenciómetro para estar monitoreando la potencia del láser.

2.2. Breve descripción de los dispositivos que serán automatizados

A continuación, se describen los dispositivos que son controlados por el software desarrollado, éstos se pueden dividir en dos categorías: los dispositivos de control y los dispositivos de adquisición. Los primeros son aquellos que son útiles en la variación de los parámetros de medición, por ejemplo, son los que controlan la posición y la corriente del láser, el voltaje aplicado a la muestra o el ángulo del analizador; los segundos son aquellos que nos permiten obtener los datos experimentales, estos dispositivos son: el espectrómetro de rejilla, la cámara CCD, el potenciómetro y los dispositivos que reciben la señal del fotodetector como lo son el amplificador Lock in y el multímetro.

A continuación, se explicarán los dispositivos que se utilizan para el control del proceso de medición en el sistema, haciendo énfasis en el en sus principales características y en las operaciones que son necesarias que se automaticen.

- **Espejos galvanométricos**

Los espejos galvanométricos, como ya se explicó anteriormente, son de crucial importancia en el sistema ya que permiten realizar los mapeos en la superficie de la muestra, en el montaje se utilizan los espejos galvanométricos fabricados por Thorlabs modelo GVS012, un galvanómetro es esencialmente un motor de alta precisión que por lo general no rotan 360 grados, cuya aceleración es proporcional a la corriente aplicada a éste [9], en este caso el galvanómetro se compone de 2 ejes, por lo tanto se necesitan dos motores con un detector para enviar la posición del espejo al sistema, el espejo se coloca en la parte final del motor, como se muestra en la figura 2.2, la cubierta reflejante de los espejos está fabricada con plata, la cual es óptima para operar en longitudes de onda en el rango de 500 nm a 2µm, estos espejos son los que desvían el haz del láser sobre el rango angular del motor.

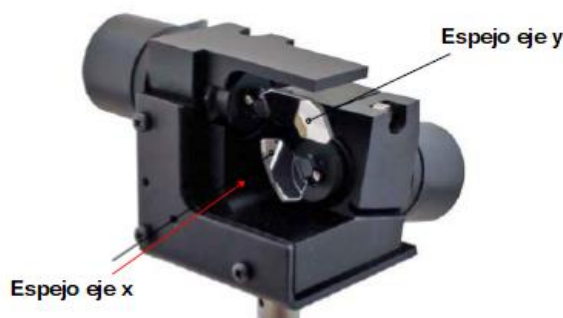


Figura 2. 2: Espejos galvanométricos GSV012. [9]

El diámetro del haz del láser máximo que puede ingresar al sistema es de 10 milímetros, este sistema de espejos permiten un ángulo de escaneo óptico de los espejos depende del diámetro del haz de la luz incidente, para el eje x es de $\pm 17^\circ$ a $\pm 31^\circ$ y para el eje y se encuentra entre $\pm 10^\circ$ y $\pm 40^\circ$. [9]

Para controlar el movimiento de los espejos se utiliza un controlador, cuya imagen se muestra en la figura 2.3, para cada motor, para el caso del GSV012 se utilizan dos controladores, éste interpreta las señales del detector capacitivo que se encuentra en la montura de los espejos (que se mencionó en el párrafo anterior), luego usa el error posicional y la velocidad e integral de los valores actuales para enviar los voltajes de salida para colocar los espejos en la posición indicada.



Figura 2. 3: Circuito controlador de los espejos galvanométricos. [9]

Para el control de la posición de los espejos se utiliza una entrada analógica de voltaje, el cual admite valores de ± 10 volts [9], para proporcionar este voltaje desde una computadora se utiliza el NI cRIO 9074, el cual se muestra en la figura es un controlador embebido fabricado con National Instruments, que tiene un procesador en tiempo real, un CPU de 400 MHz, almacenamiento de 256 MB, un FPGA, tiene varios puertos de conectividad tales como un puerto serial y un Ethernet, además de que cuenta con 8 ranuras para la entrada o salida de señales analógicas o digitales. [10]

Para este caso sólo se necesita usar los módulos llamados NI 9401 y NI 9263 los cuales funcionan como salidas digitales y analógicas respectivamente.

Para controlar el NIcRIO desde LabVIEW se utiliza el módulo Real Time, el NIcRIO se comunica con el ordenador vía Ethernet, para poder utilizar el dispositivo en LabVIEW primero se tiene que configurar el dispositivo en el NI Max, en el cual se define su dirección IP y su máscara de red, una vez que se realizó esto, se tiene que crear un

proyecto de tipo Real Time, en el cual se selecciona el dispositivo que se desea utilizar, y este es el proyecto en el que se desarrolla todo el software de control.

- **Montura rotatoria**

La montura que se utilizó es el modelo K10CR1 de Thorlabs, que es una montura rotatoria de alta precisión que es controlado por un motor a pasos, el cual es alimentado por el puerto USB de la computadora, puede ser controlado por los botones que se encuentran en la parte superior del dispositivo (ver figura 2.4) o ser controlados desde el software Kinesis en la computadora. Esta montura puede realizar vueltas continuas de 360° , la velocidad de rotación puede ser establecida de 0.005° a 10° por segundo y tiene una resolución de 0.0073° ($127\mu\text{Radianes}$). [11]



Figura 2. 4: Montura rotatoria K10CR1. [12]

Como se explicó el software utilizado para controlar la montura es Kinesis, el cual es un software de control flexible que permite un control total de la configuración y operación del dispositivo desde un ordenador muchos de estos controles están disponibles en Windows como controles .Net, los cuales permiten el control directo sobre dispositivos electrónicos, el software que utiliza este tipo de controles se les conoce como “aplicaciones clientes”. [11]

Los controles .Net pueden ser utilizados en LabVIEW, los cuales proporcionan un control similar al que se muestra en la figura 2.5, el cual puede ser controlado de forma manual o por medio de funciones de software llamados métodos, los cuales

permiten que los parámetros y la operación del dispositivo puedan ser automatizados por la aplicación cliente. [11]



Figura 2. 5: Control .Net para el dispositivo K10CR1. [12]

A continuación, se explican los dispositivos de adquisición de los datos:

- **Potenciómetro.**

El potenciómetro que se utiliza en el sistema es el PM100A ,mostrado en la figura 2.6, el cual está diseñado para medir potencias ópticas de fuentes de luz monocromáticas o casi monocromáticas y la energía de fuentes de luz pulsadas, este dispositivo puede ser controlado remotamente vía USB, el PM100A cuenta con un software que permite el control remoto del dispositivo desde una computadora además de permitir la visualización de los datos, es posible controlar el dispositivo desde LabVIEW utilizando comandos SCPI lo cual será de gran ayuda en el momento de automatizar la adquisición de los datos. [12]



Figura 2. 6: Consola del Potenciómetro PM100A. [14]

- **Amplificador Lock in.**

El amplificador Lock in que se utiliza en este sistema es el modelo SR510 de Stanford Research Systems, el cual se muestra en la figura 2.7, éste es un amplificador que se puede controlar remotamente y es capaz de medir señales de AC de hasta nano volts en presencia de altas cantidades de ruido, este dispositivo tiene escala de sensibilidades que van desde los 500 mV. hasta los 100nV. La entrada de referencia se puede configurar para que se bloquee en ondas sinusoidales o en cualquier borde de una referencia pulsada. El rango de frecuencia de referencia es de 0,5 Hz a 100 kHz, y se permite la detección tanto en el armónico fundamental como en el segundo armónico de la referencia. Un conveniente medidor de frecuencia incorporado mide y muestra constantemente la frecuencia de referencia con una resolución de 4 dígitos. El SR 510 se puede comunicar con la computadora vía serial RS 232 o GPIB, en nuestro caso la comunicación se realizará vía GPIB. [13]



Figura 2. 7: Amplificador Lock in SR510. [15]

- **Multímetro.**

El multímetro que se utilizó es el Keithley 199 DMM, el cual se muestra en la figura 2.8, el cual es un multímetro capaz de comunicarse con una computadora mediante un puerto GPIB, el multímetro es capaz de medir voltajes que se encuentran entre 1 μ V y los 300 Volts en AC y DC, para mediciones de corriente éste puede medir entre 100nA y 3^a. [14]



Figura 2. 8: Multímetro Keithley 199 DMM.

Tomada de

https://www.artisanTG.com/TestMeasurement/67352/Tektronix_Keithley_199_System_DMM_Scanner

Al igual que el amplificador lock in este dispositivo es programado por las herramientas de comunicación GPIB que provee LabVIEW, lo que facilita de gran manera la implementación de la comunicación entre estos dos dispositivos y la computadora. La comunicación entre los dispositivos y la computadora se realiza por medio de un dispositivo de National Instruments llamado GPIB-USB HS, el cual es un dispositivo controlador IEEE 488 (GPIB) para computadoras con ranuras USB. El GPIB-USB-HS alcanza máximo rendimiento IEEE 488.2. No requiere ningún cable GPIB para la conexión de instrumentos, por lo que puede usar el puerto USB de alta velocidad para controlar hasta 14 instrumentos GPIB programables. El dispositivo es completamente compatible con IEEE 488.2. [15] una vez que el GPIB-USB HS se ha conectado a una computadora se configura en el NI VISA para posteriormente ser utilizado por LabVIEW.

- **Cámara.**

La cámara utilizada es el modelo DCC1645C de thorlabs, la se muestra en la figura 2.9, ésta cámara cuenta con sensores CMOS de alta velocidad, puede detectar colores y genera una imagen de 1280x 1024 pixeles, este tipo de cámara es ideal para actividades de microscopía óptica, es controlada y alimentada por un cable USB. [16] Para controlar la cámara desde LabVIEW se utiliza el paquete de National Instruments Vision Assistant y el módulo Vision de LabVIEW , el cual facilita el control de la cámara, además permite controlar algunos parámetros de la cámara, tales como el tiempo de

exposición el cual está entre los 0.05 a 53.5 milisegundos, la ganancia que va de los 0 al 100% y el filtro Gamma que se encuentra entre 1 y 2.2.



Figura 2. 9: Cámara DCC1645C de Thorlabs. [18]

- **Espectrómetro**

El espectrómetro que se utiliza en el sistema es el Ocean Optics USB 4000 (Ver figura 2.10), el cual es un espectrómetro miniatura que se acopla a una fibra óptica que está configurado para operar en longitudes de onda que van de los 200 nm a los 850nm, el espectrómetro se utiliza generalmente en experimentos de transmisión, reflexión y emisión. En el interior de este dispositivo se encuentra una rejilla en la que se refleja la luz que entra a la fibra óptica, después incide en un detector lineal CCD y envía la información a la computadora vía USB. Para su programación se pueden utilizar los subVIs que proporciona el fabricante para poder controlar al dispositivo desde LabVIEW. [17]



Figura 2. 10: Espectrómetro Ocean Optics USB4000. [19]

3. Desarrollo del software de control

En el presente capítulo se describirá el software de control desarrollado, describiendo sus principales características y presentando la forma en que fue ideado, además de describir el algoritmo que es utilizado. Así mismo se explica la forma en que se controlan los dispositivos descritos en el capítulo anterior. Por último, se explica la forma en que guarda la información que se produce durante el experimento.

3.1. Algoritmo de funcionamiento del programa de control

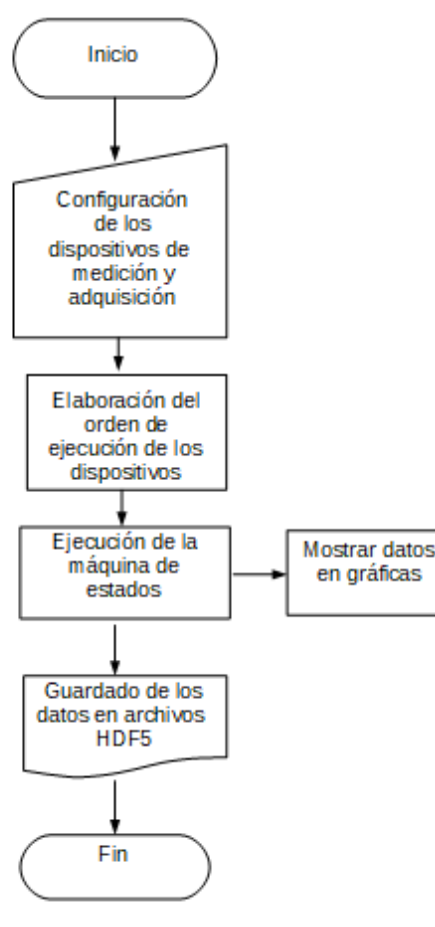


Figura 3. 1: Diagrama de flujo del programa de control.

En la figura 3.1 se muestra el diagrama de flujo para el programa de control, el proceso comienza cuando el usuario introduce los dispositivos que se utilizarán en el experimento y proporciona los parámetros en el que estos se ejecutarán, las opciones

que aparecen disponibles para el usuario para los dispositivos de control son: espejos, voltaje, polarizador, láser; para los dispositivos de adquisición aparecen las opciones de CCD, potenciómetro, lockin, tanto para los dispositivos de adquisición como para los de control aparece la opción de “ninguno” para que en caso de que el usuario decida no seleccionar alguno de los dispositivos disponibles. Una vez que se realiza el proceso de seleccionar los dispositivos, se crea un arreglo de enumeraciones con los nombres de los dispositivos llamado “Orden” y que se utiliza para controlar el flujo de la máquina de estados, en la figura 3.2 se muestra cómo se forma el arreglo de enumeraciones en base a los dispositivos que introduce el usuario, el orden se determina según la numeración que tiene el título de la combo box, de menor a mayor, tal y como se muestra en la figura 3.2.

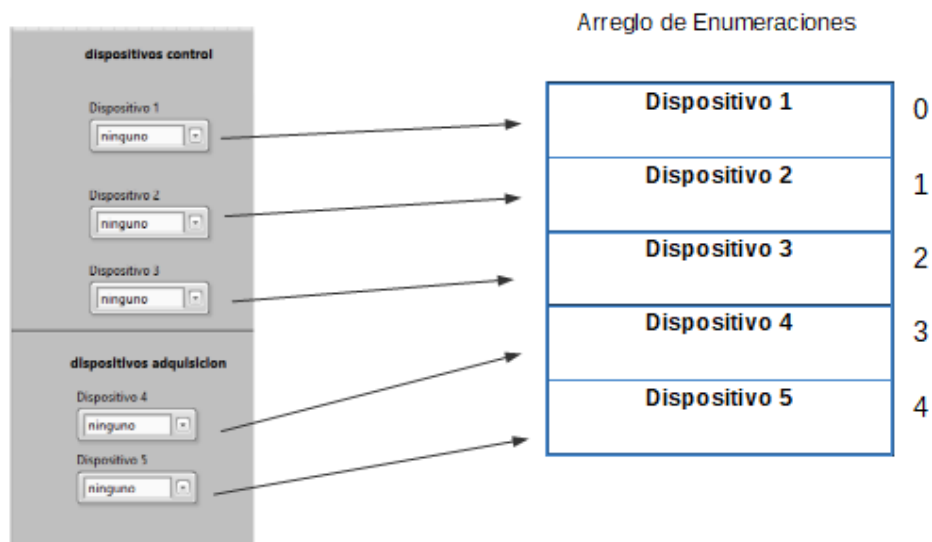


Figura 3. 2: Creación del arreglo que indica el orden de ejecución de los dispositivos en la máquina de estados.

Una vez que ya se tiene el arreglo “Orden” se ejecuta la máquina de estados, cuyo diagrama de flujo se muestra en la figura 3.3, se puede observar que se necesitan tres ciclos iterativos para poder ejecutar el proceso, esto se debe a que el programa está diseñado para ejecutar hasta tres dispositivos de control, los valores de las variables

N1t, N2t y N3t se obtienen de los parámetros que el usuario introduzca, ya que cuando se configuran estos dispositivos se seleccionan un valor inicial, un valor final y un incremento del parámetro que controlarán estos dispositivos (valor de voltaje, ángulo, etc.), con esta información se crean arreglos con los valores que tomarán estos parámetros en los respectivos dispositivos y los valores que toman las variables mencionadas en este párrafo son el tamaño de estos arreglos que se generan para cada dispositivo de control, en caso de que el usuario seleccione la opción de “ninguno” para cualquier dispositivo de control, su respectiva variable tomará el valor de cero.

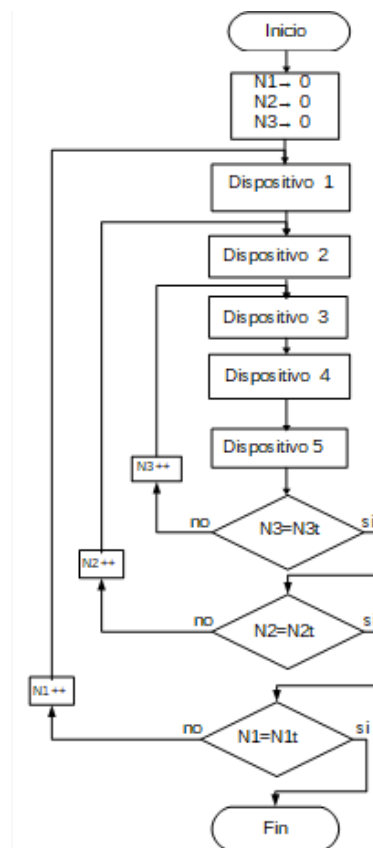


Figura 3. 3: Diagrama de flujo de la máquina de estados.

Una vez que se ejecutan los últimos dos dispositivos, que son dispositivos de adquisición, se muestran en gráficas los datos obtenidos en función del último dispositivo de control distinto de ninguno.

Dado que se maneja una gran cantidad de información debido a que se la información que se adquiere depende de más de un parámetro, el guardado de los datos no se puede llevar a cabo con archivos de texto convencionales, por esta razón se decidió

utilizar los archivos HDF5, la idea es elaborar arreglos multidimensionales para cada dispositivo de adquisición que sea utilizado en el experimento bajo la idea de que sean fáciles de manipular por un programa de cómputo, la dimensión de estos arreglos varía de acuerdo a los parámetros que se estén controlando en el experimento, los cuales se reflejan en el número de dispositivos distintos de “ninguno” haya seleccionado el usuario, por lo que la dimensión puede variar entre 2 y 5. La figura 3.4 explica la forma de guardar los datos, en ambos casos se supone que existen 3 parámetros de medición, que es el valor máximo de parámetros, en la figura 3.4-a se muestra cómo se guardan los datos producidos por dispositivos como el multímetro, el amplificador lock in y el potenciómetro, el proceso consiste en crear una tabla, en la que la primera columna tenga los valores que provienen del tercer dispositivo de control, en la segunda columna se encuentran los valores que se obtienen del dispositivo de adquisición en cuestión, una vez que se creó esta tabla se almacena en una carpeta, en la que se guardarán N_2t elementos y corresponde al número de veces que se ejecuta el segundo dispositivo de control, esta carpeta a su vez se guarda en otra carpeta con N_1t elementos, la cual representa las veces que se tendrá que ejecutar el primer dispositivo, en la figura 3.4 b se muestra el proceso de guardado para la CCD y el espectrómetro, en este caso ambos dispositivos proporcionan los datos en un arreglo bidimensional, los datos de la cámara CCD es un arreglo bidimensional con valores de 0 a 255 los cuales representan la imagen en escala de grises y el espectrómetro proporciona un arreglo bidimensional formado por los valores de la longitud de onda y su respectivo valor de intensidad, una vez que se tienen estos datos, la tabla se introduce en carpetas de manera muy similar que para lo descrito en el inciso a, con la diferencia de que se necesita crear una carpeta adicional para guardar la tabla en una carpeta en donde se pueden almacenar N_3t elementos y continuar con el mismo procedimiento, los índices que aparecen en ambos incisos de la figura 3.4 representan la dimensión que ocupan en el arreglo generado. Cada arreglo que se genera se guarda en un grupo con el nombre del dispositivo de adquisición correspondiente.

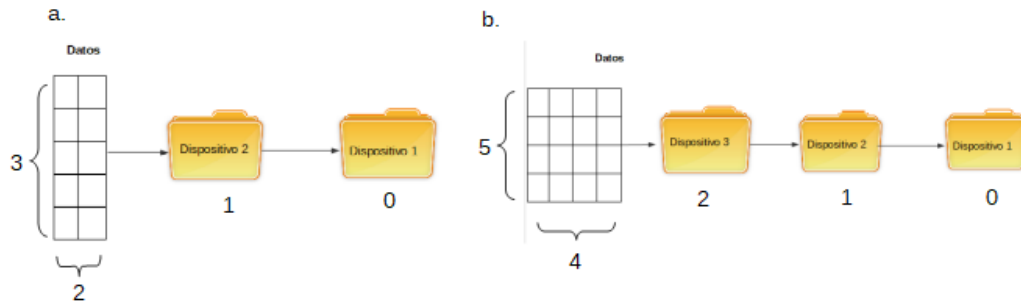


Figura 3. 4: Procedimiento para guardar los datos generados por el sistema. a) para dispositivos que sólo generan un dato cada iteración, b) para dispositivos que generan un arreglo bidimensional cada iteración.

3.2. Implementación en LabVIEW

En el presente apartado se expondrán los algoritmos que se utilizan en el programa de control en LabVIEW, además de explicar la interfaz gráfica que utiliza el usuario para poder operar el software, se muestra la forma en que se controlan los dispositivos para el control y la adquisición de los datos, además se explican los algoritmos para el guardado de los datos.

3.2.1. Interfaz Gráfica del programa de control

En la figura 3.5 se muestra la interfaz gráfica del software de control, la cual consta de tres paneles en los que el usuario puede controlar y observar la información que se genera durante el experimento.

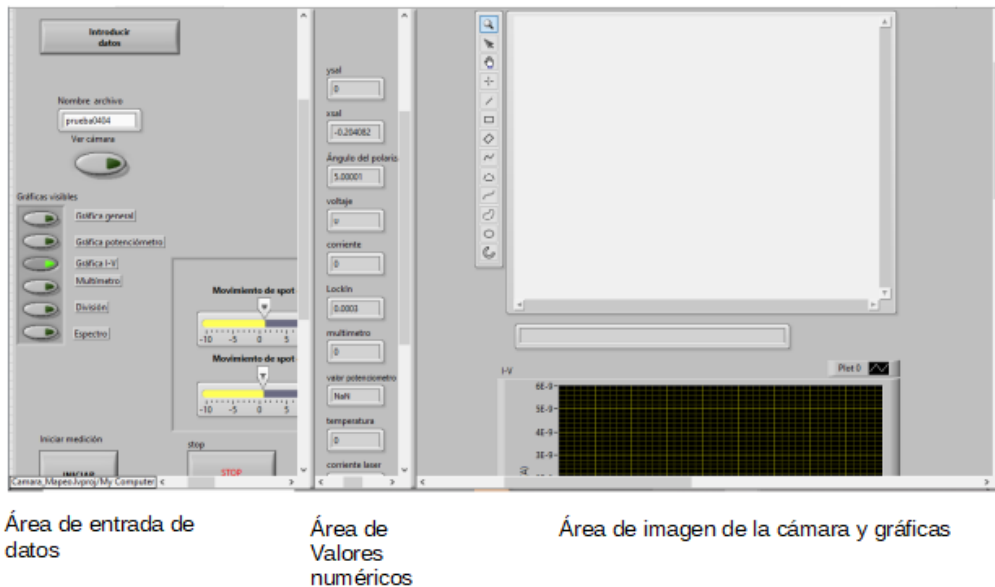


Figura 3. 5: Interfaz gráfica del programa de control.

El primer panel a la izquierda es el que permite al usuario fijar los parámetros de operación de todos los dispositivos, en este panel se puede seleccionar que gráficas de desean ver, en las que el usuario puede seleccionar entre la gráfica general, que muestra los valores que se obtienen del lock in en función de voltaje o ángulo por lo común, la gráfica del multímetro, la división de los valores del lock in y multímetro, la gráfica de la intensidad en función de la longitud de onda (que se obtiene del espectrómetro) y la gráfica de corriente-voltaje. En este panel también se puede controlar de forma manual el movimiento de los espejos galvanométricos, lo cual es de gran ayuda en el momento de la alineación del sistema, para el mismo propósito se le permite al usuario visualizar la imagen de la muestra que es generada por la CCD en tiempo real, el poder ver una imagen en tiempo real también es de gran importancia para poder colocar las puntas en los contactos de forma adecuada y el usuario puede seleccionar el área de la imagen que será guardada, en caso de que así lo considere necesario. También se encuentra un espacio para colocar el nombre que desea el usuario que tenga el archivo HDF5 en donde se guardará toda la información que se genere en el proceso experimental, además se encuentran los botones “iniciar” y “Stop” que sirven para iniciar la medición y cancelarla respectivamente.

El segundo panel muestra los valores que se adquieren de los dispositivos de control y de adquisición, si un dispositivo no fue seleccionado por el usuario, entonces el valor mostrado es de cero.

El tercer panel es el que muestra la información que se genera por medio de gráficas o una imagen de la cámara, el usuario selecciona que gráficas desea observar y el programa es capaz de mostrar hasta 6 gráficas en donde se pueden mostrar las lecturas que se obtienen dispositivos tales como el amplificador lockin y el multímetro en función de los datos que se obtienen del último dispositivo de control distinto de “ninguno”.

El botón “Introducir datos” que aparece en el primer bloque a la izquierda es el que permite seleccionar qué dispositivos se utilizarán y permite su configuración, cuando se presiona este botón se despliega la interfaz que se muestra en la figura 3.6, también cuenta con tres paneles, si se observan de izquierda a derecha en esta figura, el primer panel permite al usuario seleccionar los dispositivos que serán utilizados en el experimento por medio de Combo Box en los que el usuario puede seleccionarlos, como se puede observar existen dos divisiones, la de los dispositivos de control y la de dispositivos de adquisición, en la primera sección los combo box cuentan con las siguientes opciones: “espejos”, “polarizador”, “voltaje”, “laser” y “ninguno”, para los dispositivos de adquisición aparecen las siguientes opciones: “CCD”, “potenciómetro”, “lock in” y “ninguno”. Una vez que el usuario ha seleccionado todos los dispositivos que se usarán en el experimento, entonces se utiliza el segundo panel, en el cual se encuentran dos combo box, uno llamado “dispositivo”, que cuenta con 5 opciones que van del “dispositivo 1” al “dispositivo 5”, y representan los dispositivos que seleccionó el usuario en el primer panel, el segundo combo box cuenta con los parámetros que el usuario puede configurar a cada dispositivo seleccionado, por lo tanto las opciones que aparecen en éste dependen de la opción seleccionada actualmente del combo box “dispositivo”, las opciones que se pueden utilizar para cada dispositivo se muestran en la tabla 3.1. El tercer panel se visualizan los datos que el usuario introduce para cada parámetro, se observan en forma de clústeres, diferentes para cada

dispositivo, estos clústeres son los que se utilizan para controlar los dispositivos en el programa principal.

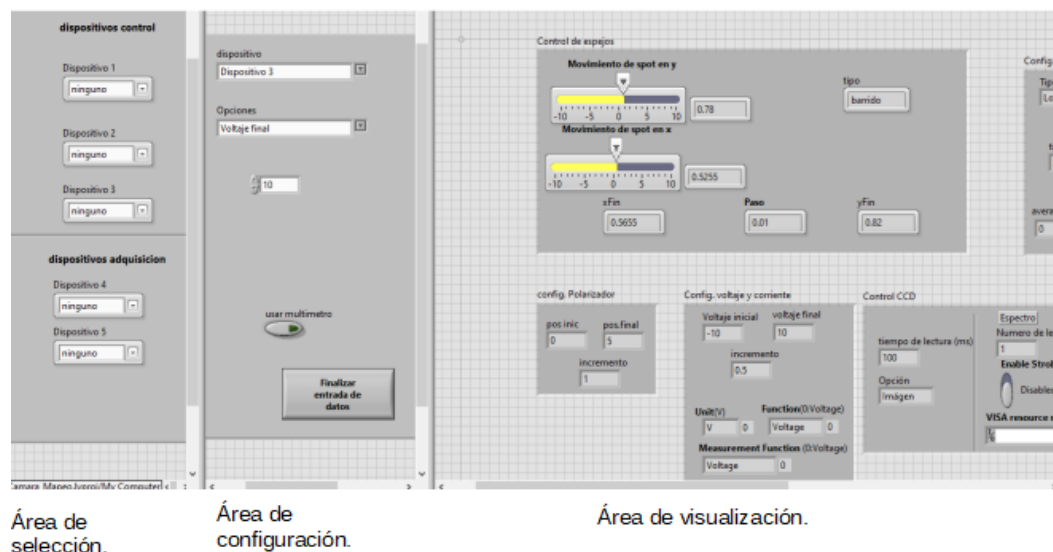


Figura 3. 6: Interfaz utilizada para seleccionar y configurar los dispositivos que se utilizarán en el experimento.

En la tabla 3.1 se muestran los datos que se pueden configurar para cada dispositivo, se dividen en tres tipos de parámetros de acuerdo al dato que aceptan, como se observa existen parámetros que son numéricos, en este caso, cuando el usuario selecciona este tipo de parámetro aparece una entrada numérica en el segundo panel que envía el dato que introduce el usuario al el clúster correspondiente, generalmente se utilizan para introducir valores numéricos tales como voltajes o posiciones por ejemplo. Así mismo existes parámetros que por lo general necesitan que el usuario seleccione una opción entre varias, por este motivo se aparece un combo box en lugar de una entrada numérica en este panel. Por último existen parámetros que son de tipo booleano o son una entrada de tipo NI VISA, que se utiliza para saber en qué puerto se encuentra conectado cierto dispositivo y estos son los parámetros que aparecen como especiales en la tabla 3.1, si el usuario no asigna algún valor a alguna variable de cualquier dispositivo, esta toma el valor de cero, si es numérica, FLASE si es booleana o el valor que se encuentra como predeterminada si es de tipo opción.

Tabla 3.1: Parámetros de los dispositivos que se pueden manipular en el programa.
a) Dispositivos de control, b) Dispositivos de adquisición.

Dispositivos de Control			
Dispositivo	Parámetros numéricos	Parámetros con opciones	Opciones especiales
Espejo	movimiento spot en x movimiento spot en y xfin yfin paso	tipo	
Voltaje	Voltaje inicial Voltaje final incremento	unidades funcion funcion de medición	Medir Corriente puerto COM
polarizador	angulo inicial angulo final incremento		
laser	corriente inicial corriente final incremento		
ninguno			

Dispositivos de adquisición			
Dispositivo	Parámetros numéricos	Parámetros con opciones	Opciones especiales
ccd	tiempo de lectura exposicion Valor Gamma Ganancia Número de lecturas	Opción	Enable strobe
potenciometro	average rate readout config tiempo de lectura		
Lockin	tiempo de lectura número de mediciones		usar multímetro
ninguno			

Se puede resumir el funcionamiento del VI que controla este proceso en el diagrama de la figura 3.8, en el que se muestra el algoritmo de funcionamiento del subVI llamado control. Todo el proceso se basa en la utilización del archivo de texto llamado “pp”, en el que se encuentran los dispositivos con sus respectivos parámetros (mostrados en la tabla 3.1), primeramente, se extraen todos estos datos del archivo y se forma un arreglo en donde la primera columna son los nombres de los dispositivos, y en cada fila se encuentran los parámetros correspondientes a cada dispositivo, como se muestra en la figura 3.7. Una vez que se formó este arreglo, se toman los elementos de la primera columna, los primeros cinco serán las opciones de los combo box de los dispositivos de control, los cuatro restantes serán las opciones de los combo box de los dispositivos de adquisición, como se explicó anteriormente en el segundo panel se encuentran dos combo box, uno es utilizado para seleccionar el dispositivo a configurar, de acuerdo a lo que el usuario seleccionó en cada como box del primer panel, de acuerdo a lo que el usuario seleccione en éste, se busca en el arreglo descrito anteriormente el dispositivo que el usuario seleccionó en el correspondiente combo box y se utilizan los elementos de la fila de este dispositivo como los elementos del combo box llamado “opciones”, de acuerdo a como el usuario seleccione un

parámetro y le asigne un valor, este se enviará al clúster del respectivo dispositivo. Al final se creará un arreglo de “strings” con los nombres de los dispositivos que seleccionó el usuario en cada combo box del primer panel. Los clúster se utilizarán para controlar el experimento.

Dispositivo 1	Parámetros Disp. 1
Dispositivo 2	Parámetros Disp. 2
Dispositivo 3	Parámetros Disp. 3
Dispositivo 4	Parámetros Disp. 4

Figura 3. 7: Ejemplificación de la forma en la que se crea el arreglo que contiene los dispositivos y sus respectivos parámetros. El nombre del dispositivo ocupe la primera columna y el resto de las columnas en la misma fila son ocupadas por los parámetros del dispositivo.

En las siguientes secciones se explicarán los principales subVIs que son utilizados para controlar los dispositivos y la secuencia en la que éstos se ejecutan.

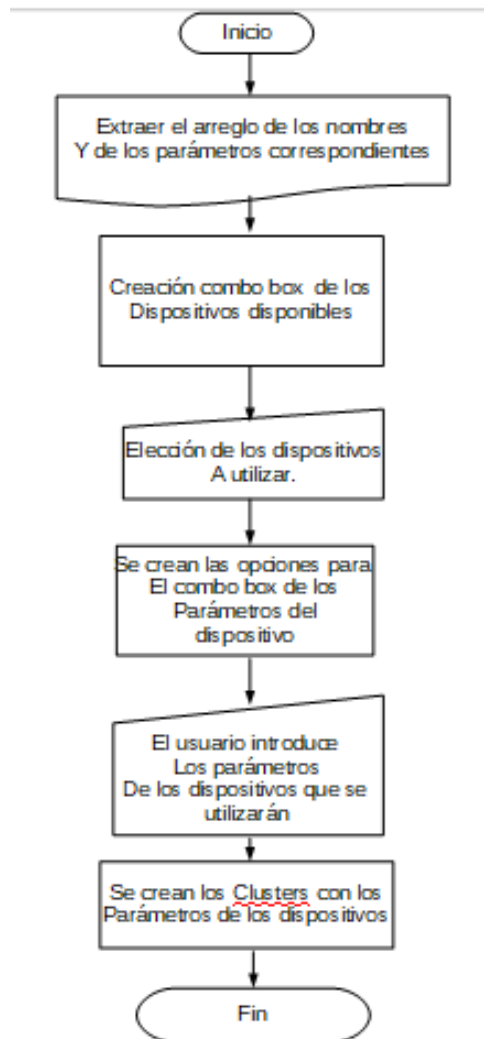


Figura 3. 8: Diagrama de flujo del subVI que permite seleccionar y configurar los dispositivos.

3.2.2. SubVi's para el control de la secuencia de ejecución de los dispositivos

Una vez que el usuario presiona el botón “iniciar”, se ejecuta la secuencia que se ilustra en la figura 3.9, la cual consta de tres ciclos FOR, cuyo número de iteraciones de cada ciclo depende está dado por los valores de las variables Nt1, Nt2, Nt3 descritas anteriormente, en cada ciclo se encuentra un subVI llamado conector 2, que es utilizado para enviar el parámetros que obtiene de los arreglos que contienen descritos

en la sección 3.1, en el último ciclo se encuentra la máquina de estados que está formada por una estructura “case” dentro de un ciclo while, en la cual cada elemento contiene, a excepción del estado “ninguno”, un subVI que controla un dispositivo y todos los estados tienen uno llamado “corr” para pasar al siguiente estado de acuerdo al arreglo “orden”, para detener la ejecución de la máquina de estados una vez que se hayan ejecutado los 5 estados, se compara el estado en el que se encuentra actualmente la máquina con el último elemento del arreglo “orden”, si son iguales se termina de ejecutar el ciclo while que contiene la máquina de estados. Tanto el ciclo while como los ciclos FOR tienen un registro de corrimiento de tipo enumeración el cual se configura utilizando el arreglo “Orden” de la siguiente manera:

- 1° ciclo FOR: La entrada es el primer elemento del arreglo “Orden”.
- 2° ciclo FOR: La entrada es el valor de entrada del primer ciclo FOR y la salida es el segundo elemento del arreglo “Orden”.
- 3° ciclo FOR: La entrada es el valor de entrada del segundo ciclo FOR y la salida es el segundo elemento del arreglo “Orden”.
- Ciclo while: La entrada es el valor de entrada del tercer ciclo FOR y la salida es la salida del subVI “corr”.

Una vez que se termina de ejecutar la máquina de estados, se procede a mostrar la información al usuario, para este motivo, el tercer ciclo FOR, cuenta con 8 registros de corrimiento de que aceptan un arreglo numérico, en cada arreglo se guarda la información que proviene de los dispositivos utilizados en el experimento, el con excepción de la cámara CCD, que muestra las imágenes en el momento en el que se generan. Con estos arreglos se generan los gráficos que se muestran al usuario y posteriormente se guardan en el archivo HDF5 que definió el usuario.

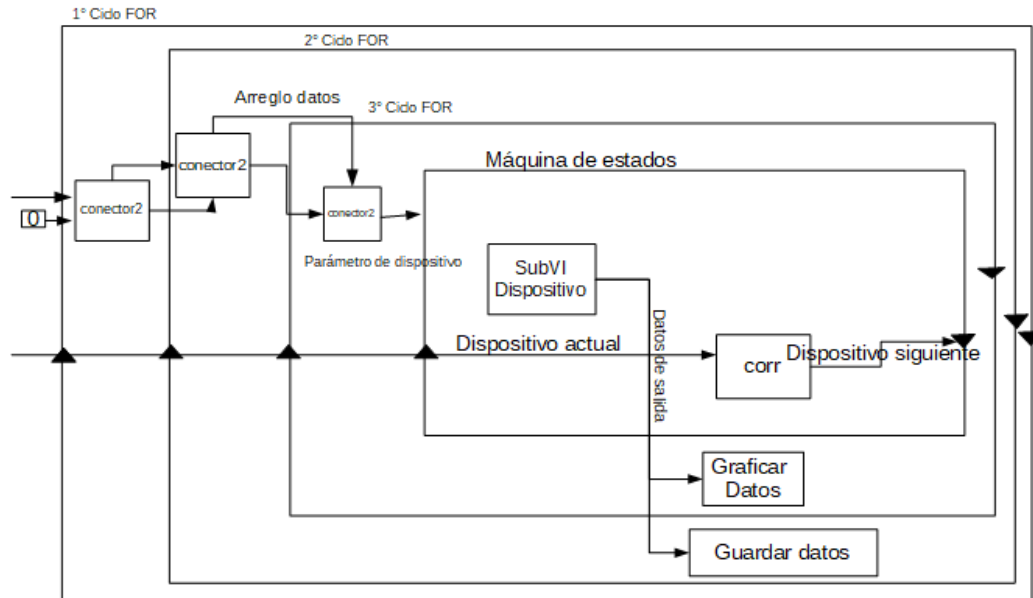


Figura 3. 9: Diagrama que representa la estructura en LabVIEW que controla el sistema.

A continuación, se describirán los subVIs que son necesarios para poder controlar el proceso de ejecución de la máquina de estados:

- **creadorOrden**

Este subVI es utilizado para crear el arreglo “orden” a partir de los dispositivos que seleccionó el usuario en la interfaz que se muestra en la figura 3.6, el algoritmo se muestra en la figura 3.10, se ingresa un arreglo de tipo cadena llamado “elemento”, formado con los nombres de los dispositivos seleccionados por el usuario y tiene como salida un arreglo de 5 elementos de tipo enumeración, que se le llama “Orden” , el arreglo “elemento” se introduce en un ciclo FOR, que se ejecuta 5 veces, este ciclo tiene la característica de que se puede configurar para que sólo pase un elemento del arreglo en cada iteración, de acuerdo al contador del ciclo FOR [8], el elemento de arreglo es utilizado en una estructura case, en donde, de acuerdo con el valor que este tenga (es un nombre de un dispositivo) se agrega la respectiva enumeración al arreglo “Orden”.

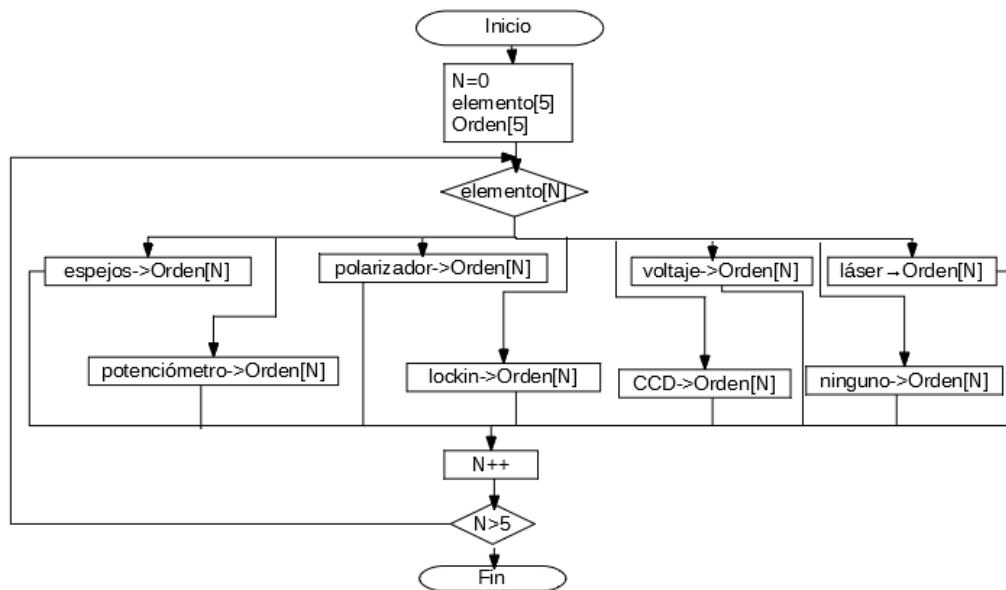


Figura 3. 10: Algoritmo del subVI creadorOrden.

- **conector2**

El subVI conector2 es de gran relevancia en el control de los dispositivos, ya que es utilizado para desmenuzar los arreglos con los valores a los que tienen que ejecutar los dispositivos de control, este subVI se coloca en cada ciclo FOR, como se muestra en la figura 3.9, este tienen que entrar todos los arreglos de los dispositivos y sus valores individuales que pueden provenir de un “conector2” anterior o de ser inicializados en cero, en caso de ser el del primer ciclo FOR, su diagrama de flujo se muestra en la figura 3.11, tiene como entradas los arreglos de todos los dispositivos de control, así como sus valores individuales, un elemento del arreglo “Orden” llamado “enum” y el valor del contador del ciclo FOR correspondiente llamado “índice”. Como salidas este subVI cuenta con los arreglos de los elementos y los valores individuales correspondientes a cada dispositivo de control. El subVI consiste en una estructura case, que depende del valor de la variable “enum”, en la figura 3.11 sólo se muestra el dato que es modificado, es decir sólo se modifica el valor individual del dispositivo al que se refiere la el valor de “enum”, en este caso se le asigna a la variable el valor que se encuentra en el lugar indicado por el valor de “índice” en el

arreglo del correspondiente dispositivo, todas las restantes variables se les asignan a los valores de salida sin sufrir ningún cambio.

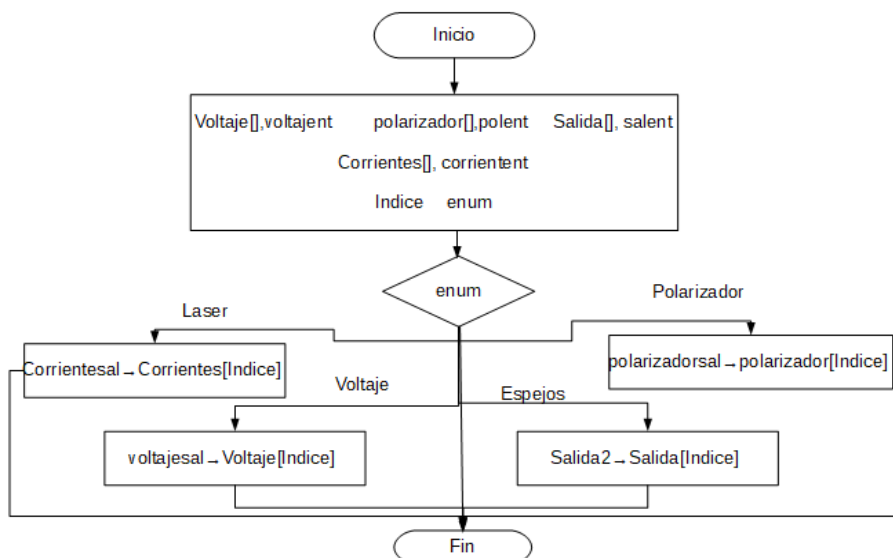


Figura 3. 11: Algoritmo del subVI conector2.

- **Corr**

El subVI “Corr” es utilizado dentro de la estructura case de la máquina de estados para determinar cuál es la siguiente etapa en la máquina de estados, lo cual lo hace buscando el estado actual en el arreglo “Orden” a partir de cierta posición, que es en la posición del estado en el que actualmente se encuentra la máquina de estados y como salida muestra el siguiente elemento en el arreglo “Orden” a excepción de que sea el último elemento de este arreglo, en este caso muestra el primer elemento de correspondiente arreglo. En la figura 3.12 se muestra el diagrama de flujo de este subVI, el cual tiene como entradas el valor a partir de dónde comenzará a buscar el elemento “in”, el elemento que buscará el arreglo “Enum” y por supuesto el arreglo “Orden”, el elemento de salida es la variable “Enum2”, en la que se almacenará el valor de salida.

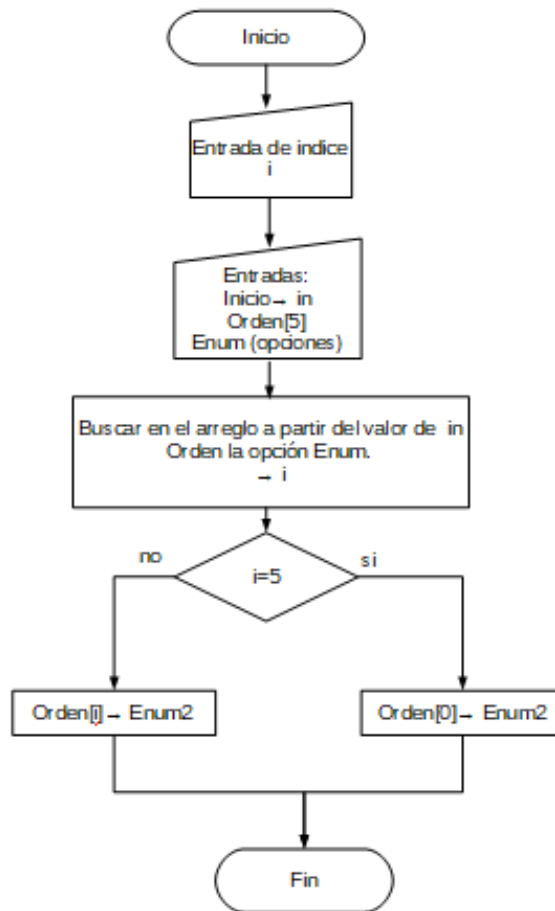


Figura 3. 12: Diagrama de flujo del algoritmo del subVI corr.

• Localizador

Como se mencionó anteriormente, algunas gráficas muestran la información en función del voltaje o del ángulo del analizador, este subVI tiene como función principal el seleccionar en función de cuales de esas dos funciones estarán graficados los datos, en la figura 3.13 se muestra su diagrama de flujo, el cual tiene como entradas al arreglo “Orden” y como salidas tiene a un elemento enumeración llamado “Enum”, se cuenta con una variable booleana llamada “bandera” que se inicializa en FLASE, la variable “Enum” se inicializa con el tercer elemento del arreglo “Orden” (recordando que en LabVIEW los arreglos comienzan el índice 0) y en un ciclo while se verifica que “Enum” sea igual a “ninguno” si es verdadero, entonces “Enum” tomará como valor al elemento de la posición anterior del arreglo “Orden” y la “bandera” conserva su valor; en caso

de que sea verdadero, entonces la “bandera” tomará un Valor de TRUE. El ciclo while se detendrá hasta que la bandera cambie o se llegue al elemento “Orden [0]” del ciclo while.

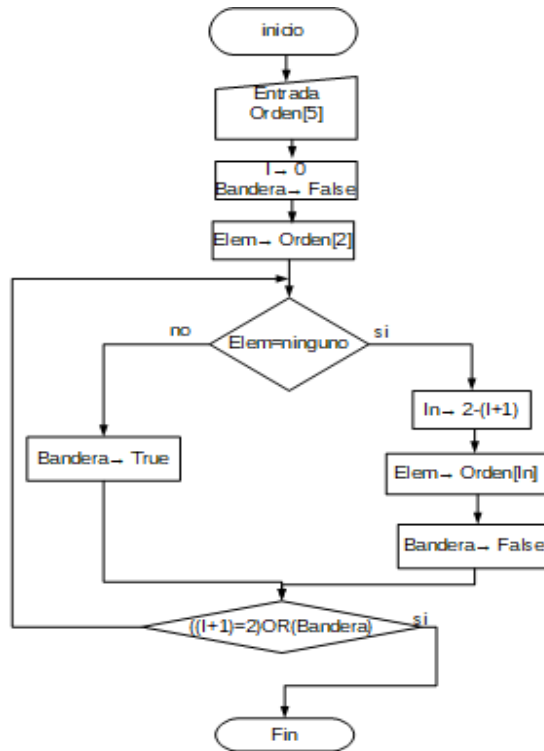


Figura 3. 13: Diagrama de flujo del subVI Localizador.

La salida de este subVI se utiliza para controlar una estructura case, en la cual se crean los títulos de las gráficas de acuerdo con el dispositivo que indique este subVI.

3.2.3. SubVI's de control de los dispositivos

En la presente sección se explican los subVIs que son utilizados para controlar a los dispositivos que se pueden emplear en el sistema. Se explican de acuerdo con los estados de la máquina de estados, debido a que en algunos es posible controlar mas de un dispositivo a la vez, como lo es el caso del estado “CCD” que controla a la cámara para adquirir imágenes y al espectrómetro y un subVI es utilizado para controlar más de un dispositivo. Se hace énfasis en los clústeres que se explicaron anteriormente y la forma en la que se utilizan para cada dispositivo.

- **Espejos**

En la figura 3.14 se muestra una imagen del clúster que es utilizado para proveer la información al dispositivo para su operación, se puede observar que representan los parámetros que introduce el usuario, a continuación, se explican los subVIs que controlan a los espejos galvanométricos.

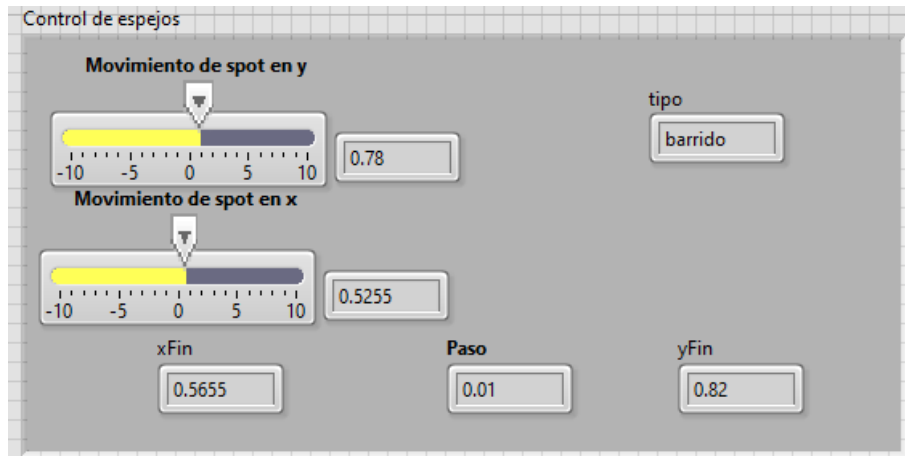


Figura 3. 14: Cluster correspondiente a los espejos galvanométricos.

- **Intervaloespejo**

Este subVI es utilizado para crear el arreglo que contiene las posiciones x,y, que son los valores de voltaje que se envían a los espejos galvanométricos, en la figura 3.15 se muestra el algoritmo de éste, tiene como entradas las posiciones iniciales y finales en x y y, el tipo de movimiento que se realizará y el paso, que indica la distancia entre dos movimientos de los espejos, lo primero que se realiza es determinar si se realiza una medición “manual” o de “barrido”, si se selecciona la opción de “manual”, entonces vos arreglos X y Y sólo toman los valores iniciales de x y y, en caso contrario estos arreglos toman los valores que se generan a partir de los valores iniciales y finales de x y y sumándoles el valor de la variable paso hasta llegar al valor final de x y y, este proceso se explicará con más detalle más adelante. Una vez que tienen los arreglos X y Y se introducen en dos ciclos FOR, en el ciclo exterior se indexa el arreglo Y , y en el interior el arreglo X, por lo tanto se iterarán mientras existan valores en estos arreglos, durante este proceso, se convierten a cadenas los valores actuales de X y Y

posteriormente se agregan al arreglo “salida” para formar una cadena con la forma “y,x”.

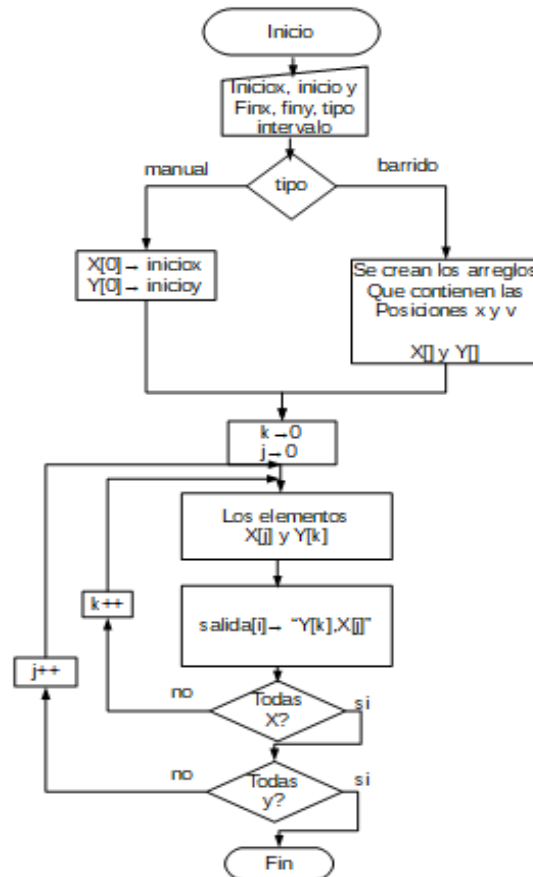


Figura 3. 15: Algoritmo del subVI intervaloespejo.

○ Controlespejo

El subVI controlespejo es utilizado para enviar los valores de voltaje para el espejo x y el y por medio del NIcRIO, en la figura 3.16 se muestra el diagrama de flujo de este subVI, el cual solamente toma el valor de tipo cadena que proviene del subVI “conector2”, el cual, como se explicó anteriormente tiene la forma “y,x”, con ayuda de las herramientas de LabVIEW se busca la coma en la cadena, los elementos que están antes de esta corresponden a la posición en y y el resto a x, posteriormente estos valores se envían al cRIO por medio de las variables de éste Voutx y Vouty además que se envían a las variables de salida X y Y, que son enviadas a unos indicadores numéricos en donde el usuario puede observarlas.

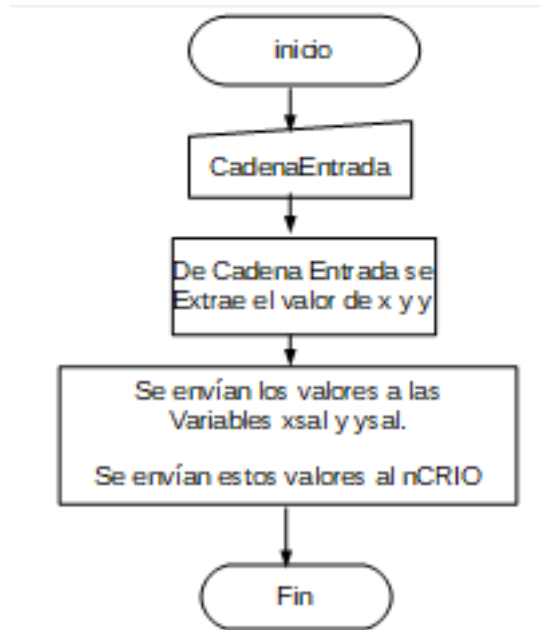


Figura 3. 16:Diagrama de flujo del subVI controlespejos.

- **Voltaje**

En la figura 3.17 se muestra el clúster para de la fuente de corriente y voltaje, en la que se observan los parámetros que el usuario puede introducir tales como el voltaje inicial y final y si medirá corriente o voltaje entre otros.

Figura 3. 17: Clúster para el control de la fuente de corriente y voltaje.

Los subVIs que se utilizan en el control de este dispositivo son los siguientes dos:

- **Intervalo**

Este subVI es utilizado para generar el arreglo que alimentará al subVI “conector2” descrito en la sección anterior por lo que también será utilizado para generar los arreglo que alimenten a otros dispositivos. En la figura 3.18 se muestra el diagrama de flujo de este subVI, el cual tiene como entradas los valores de inicio, fin y el incremento, como salida tiene un arreglo de números flotantes, el algoritmo comienza con verificar si el valor inicial es menor al valor final, si esto es cierto, entonces en un ciclo while el incremento se multiplica por el número de iteración y se le suma al valor inicial, este valor se agrega al arreglo de salida, el proceso se detiene hasta que se tenga un valor mayor o igual al valor final, en caso de que el valor inicial sea mayor que el inicial en lugar de sumarle al valor inicial el producto del incremento y el número de iteración, se le resta.

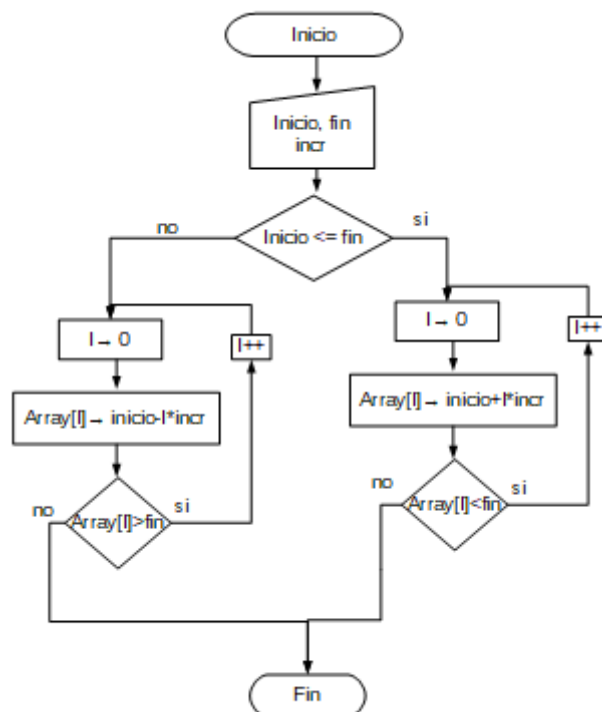


Figura 3. 18: Diagrama de flujo del subVI intervalo.

- **fuentesVoltage**

Este subVI es utilizado para poder enviar y recibir información del dispositivo utilizado para controlar el voltaje aplicado a las muestras, esto se realizó con los módulos que se cuentan para LabVIEW, lo cual facilitó de gran manera la programación. En la figura 3.19 se muestra el algoritmo con el que se controla el voltaje aplicado y envía los valores de corriente y voltaje a la computadora. Este subVI tiene las siguientes entradas: el valor que se enviará al dispositivo "Volt.", la dirección en la que está conectado el dispositivo "VISA", el modo de ejecución (si enviará un valor de voltaje o de corriente al dispositivo) "modo", la primera actividad que se realiza es la de inicializar el dispositivo, para lo cual necesita saber en dónde está conectado el dispositivo, por esta razón se necesita la variable de tipo VISA que indica en que puerto se está conectado el dispositivo, posteriormente se configura el dispositivo para que puede generar y leer voltaje y corriente, de esta forma se garantiza de que el dispositivo sea capaz de realizar cualquiera de estas dos actividades, posteriormente se envía al dispositivo el valor que se enviará al dispositivo, que por lo general será de voltaje, después se le comunica al dispositivo para que pueda generar voltaje o corriente, de acuerdo al valor de la variable "modo", después muestra los valores de corriente y voltaje que lee el dispositivo, que en este caso son los valores de salida del subVI, finalmente se cierra la comunicación con el dispositivo.

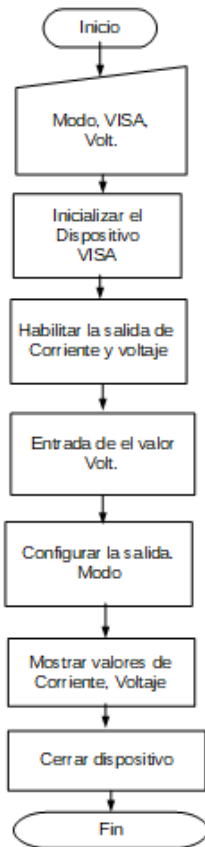


Figura 3. 19:
Algoritmo para el
subVI
controlvoltage.

- **Polarizador**

En este estado se controla la montura rotatoria descrita en el capítulo 2, en este caso el clúster que se utiliza sólo cuenta con la posición inicial y final además del incremento en grados sexagesimales a la que la montura tiene que rotar el analizador del montaje experimental, de igual forma que en los anteriores dispositivos, es necesario generar un arreglo con todos los valores que serán enviados a la montura rotatoria en cada iteración, para esta tarea se utiliza el subVI “intervalo”, que se describió anteriormente. Para el control de la montura se utiliza el siguiente subVI:

- **Pol2**

Este subVI es utilizado para controlar la montura rotatoria por medio del software “Kinesis” descrito anteriormente, la forma de realizar esta actividad es utilizando un

control .NET, y los nodos de propiedad y de invocación de éste. En la figura 3.20 se muestra el proceso que se realiza en este subVI, el cual tiene como entradas el número serial del dispositivo “serial” y el valor del ángulo “ángulo” al que se debe de posicionar la montura rotatoria. Lo primero que se realiza es configurar el dispositivo utilizando el número de serie para identificar qué dispositivo se está utilizando, posteriormente se “crea el dispositivo” con un nodo de propiedad del control .net, una vez que se tiene este dispositivo, se activa un delay de un segundo por medio del nodo de invocación “wait timeout”, posteriormente se envía al valor de la variable “ángulo” al dispositivo por medio del nodo de invocación “set move absolute position”, para visualizar el valor del ángulo se utiliza un nodo de invocación llamado “get position counter”, el cual nos entrega un valor entero que se divide por 136543 para obtener el valor del ángulo que será mostrado al usuario, finalmente se cierra el dispositivo por medio de un nodo de propiedad llamado “close device”. Para ejecutar este subVI no es necesario que el software “Kinesis” se esté ejecutando.

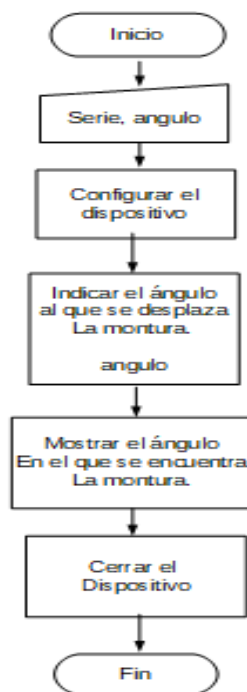


Figura 3. 20: Algoritmo del subVI pol2.

- **Láser**

El clúster que se forma con los parámetros que introduce el usuario contiene sólo los valores inicial, final el incremento de la corriente que es aplicada al diodo láser y también la temperatura de operación, al igual que en los dispositivos descritos anteriormente, se necesita elaborar un arreglo con los valores que el usuario introdujo para la corriente aplicada, este arreglo se elabora con el subVI “intervalo”, este arreglo será utilizado por el subVI “conector2” en los ciclos FOR para obtener el valor correcto de la corriente que se debe de aplicar al láser. Para la operación del láser se utiliza el siguiente subVI:

- **Itc400**

Este subVI se tiene contemplado en caso de que se necesite utilizar esta clase de controladores en el sistema y utiliza los módulos proporcionados por Thorlabs para la familia de dispositivos itc4000, como se necesitan una gran cantidad de estos módulos para crear un programa de control, se decidió realizar una máquina de estados cuyo proceso se muestra en el esquema de la figura 3.21, este subVI tiene como entradas los valores de temperatura y corriente que se aplicarán al controlador del diodo láser y como salidas tiene los mismos valores, que funcionan para que el usuario los pueda observar. El proceso comienza con la inicialización del dispositivo, lo cual se realiza con un subVI proporcionado por el fabricante, si el dispositivo no es encontrado, entonces se termina la ejecución del programa, el siguiente estado consiste en configurar los controles de corriente y temperatura que se encuentran en el panel frontal del subVI, además se configura las unidades de temperatura, que leerá el dispositivo, configurarlo para que genera un valor continuo de corriente y temperatura y habilitarlo para recibir un valor para la corriente y temperatura de forma remota, el siguiente estado consiste en configurar el dispositivo para fijar los límites de medición de forma externa, en este estado se configuran los parámetros de la potencia óptica máxima de salida, el voltaje de protección del dispositivo y la configuración del sensor de temperatura con el que cuenta el dispositivo, en el siguiente estado se fijan los parámetros que se están controlando durante la operación de este aparato tales como el rango de operación de la corriente aplicada y de la temperatura y la polaridad del diodo láser (en este caso es cátodo aterrizado). Finalmente se envían los datos de las

variables “corriente” y “temperatura” al dispositivo y se leen los valores que envía este dispositivo, por último, se cierra el dispositivo y se termina la ejecución de la máquina de estados.



Figura 3. 21:
Diagrama de la
máquina de
estados del subVI
itc4000.

- **lock in, potenciómetro**

En la figura 3.22 se muestra el clúster con los parámetros de los dispositivos que son controlados por el subVI que se describirá adelante, en este clúster se observa que se encuentran divididos los parámetros según al dispositivo al que pertenezcan, el multímetro se utilizará siempre y cuando se encuentre presionado el botón “usar multímetro”, la cadena “tipo de medición” muestra qué dispositivo se está ejecutando, ya sea el lock in o el potenciómetro.

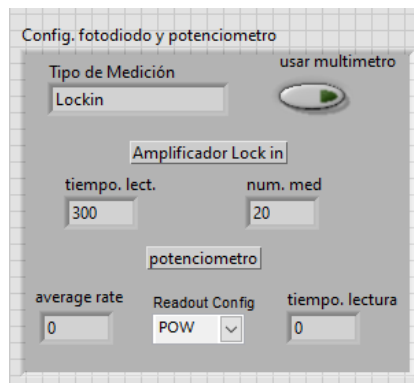


Figura 3. 22: Clúster de la configuración del fotodiodo y potenciómetro.

El subVI que controla a estos dos dispositivos se llama controllockin, en el proceso que se muestra en la figura 3.23, sólo se muestra el proceso para adquirir los datos de los dispositivos controlados, en esta figura se supone que también el usuario seleccionó utilizar el multímetro. Los parámetros principales para controlar el proceso de adquisición de la información de estos dispositivos son el tiempo y el número de lecturas del lock in y el potenciómetro además de la variable llamada “TipoMed” cuya función es determinar de qué dispositivo se obtendrán los datos, lo cual depende de en qué estado se esté utilizando el subVI (potenciómetro o lockin). El proceso comienza con una estructura case, la cual utiliza la variable “TipoMed” para elegir el dispositivo que se utilizará, posteriormente se utiliza un ciclo while cuyo número de iteraciones está dado por la variable “LectL” o “LectP” según sea el dispositivo que se esté ejecutando. Cada vez que se ejecuta una iteración primero se crea un delay que se ejecuta durante la cantidad de milisegundos que indiquen las variables “TiempoL” o “tiempo”, según sea el caso y posteriormente se adquiere una lectura de cada dispositivo y se le suma a una variable llamada “suma”, una vez que se terminó de ejecutar el ciclo while, se divide el valor de “suma” por el número de iteraciones para obtener un valor promedio de la señal que se adquiere desde dispositivo utilizado. Para obtener el dato del amplificador lock in se realiza comunicando el dispositivo con la computadora con el protocolo GPIB, se utilizan los módulos con los que cuenta

LabVIEW para enviar el comando para obtener el valor del voltaje que se está detectando, el proceso es muy similar a los dispositivos descritos anteriormente, el cual consiste en inicializar la comunicación con el dispositivo, enviar el comando para leer el parámetro (en este caso es “/sn”), recibir el dato y cerrar la comunicación. Para el caso del potenciómetro, se utilizan la librería que proporciona el fabricante, llamada “PM100D”, el procedimiento comienza configurando al dispositivo de acuerdo con los parámetros que se muestran en el clúster de la figura 3.22, es decir se determina que medirá el dispositivo, por lo general es la potencia, aunque también es capaz de medir la densidad de potencia, entre otros parámetros, posteriormente se adquiere la lectura del dispositivo y se cierra la comunicación.

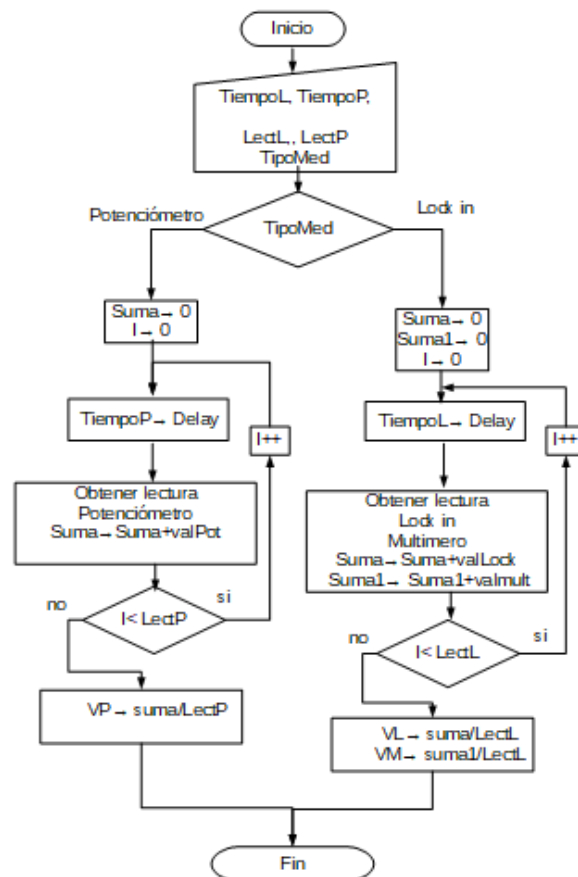


Figura 3. 23: Diagrama de flujo del funcionamiento del subVI controllockin.

- **CCD**

En este estado se controlan dos dispositivos, la cámara *DCC1645C* de *Thorlabs* y el espectrómetro USB4000 de *Ocean Optics*, el clúster que contiene los parámetros para este estado se muestra en la figura 3.24, en el que se pueden observar las opciones para controlar los dos dispositivos, éste se divide en tres secciones, la primera muestra el tiempo de adquisición de la información y el dispositivo que se utilizará en el experimento, “imagen” para la cámara y “espectro” para el espectrómetro, en el segundo panel se encuentran los parámetros del espectrómetro y en el tercer los de la cámara.

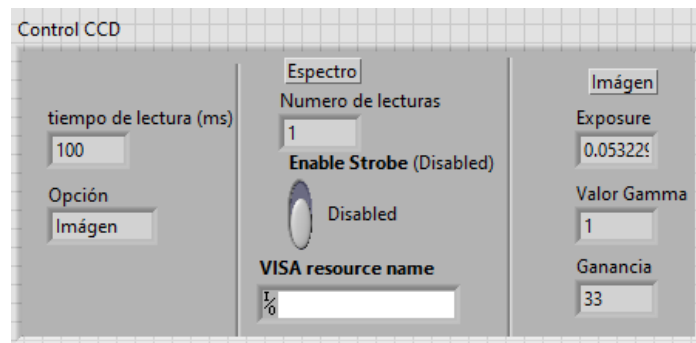


Figura 3. 24: Clúster que muestra los parámetros para el estado "CCD".

Con ayuda de una estructura case que se alimente con el valor de el parámetro “opción” se puede seleccionar que dispositivo se ejecutará, en cada estado del case existe un subVI que controla a un dispositivo, estos subVIs son los siguientes:

- **imagenCamSinGuardar**

Este subVI es utilizado para controlar la cámara *DCC1645C* por medio del paquete de Visión de LabVIEW, el proceso se muestra en la figura 3.25, las entrada con las que cuenta este programa son el tiempo de exposición, la ganancia, el valor “Exposure” de la cámara, el factor “Gamma” y las posiciones del rectángulo que representa la región que el usuario desea almacenar en el archivo HDF5, el cual es un arreglo llamado “Rec”. El proceso comienza inicializando y configurando la cámara

con ayuda de los nodos de propiedad del paquete “Vision”, en este paso se fijan los parámetros de Exposure, valor Gamma y la ganancia de la cámara, en el siguiente paso se cuenta con un ciclo while que se tiene un delay de un microsegundo que se ejecutará hasta que el número de iteraciones sea igual al valor del tiempo de exposición, dentro de este ciclo se adquiere continuamente una imagen de la muestra y se convierte de una imagen a color a una imagen en escala de grises, utilizando los valores del arreglo “Rec”, se extrae de la imagen un arreglo bidimensional con los valores de intensidad (de 0 a 255) de cada pixel de la región seleccionada, este arreglo es el que se envía al archivo ya que con éste se puede recuperar una imagen de la muestra con ayuda de un software graficador. También muestra la imagen que se adquiere al usuario. Finalmente se cierra la cámara y termina el proceso.

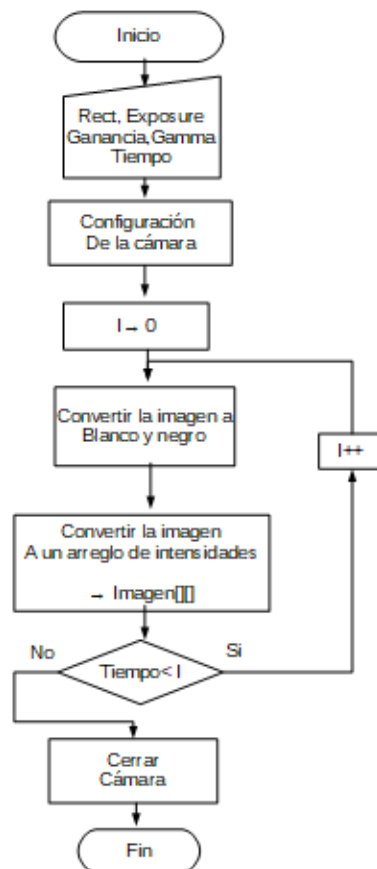


Figura 3. 25: Diagrama de flujo del subVI utilizado para controlar la cámara.

- **espectroCCD**

Para controlar el espectrómetro “Ocean Optics USB 4000” se utiliza el módulo que proporciona el fabricante, el proceso se muestra en la figura 3.26, la forma de operar este dispositivo es muy similar a los descritos anteriormente y que primero se configura el dispositivo con los parámetros que el usuario seleccionó, posteriormente se adquiere el arreglo “lamda” con los valores de las longitudes de onda, posteriormente se utiliza un ciclo FOR que se ejecuta el número de veces que el usuario haya indicado como el “número de lecturas”, dentro de este ciclo se adquiere el arreglo “Espectro”, el cual contiene los valores de intensidad de acuerdo a la longitud de onda, este arreglo se conecta con la salida del ciclo, de tal forma que cuando se termina de ejecutar, se cuenta con un arreglo bidimensional con todas las lecturas de intensidad, entonces se promedian para tener de nuevo un arreglo unidimensional con las intensidades promediadas, posteriormente se une este arreglo con el arreglo “lamda” para crear un arreglo bidimensional “EspSal”, que contenga el espectro en función de la longitud de onda y es el que se muestra al usuario. Finalmente se cierra el dispositivo.

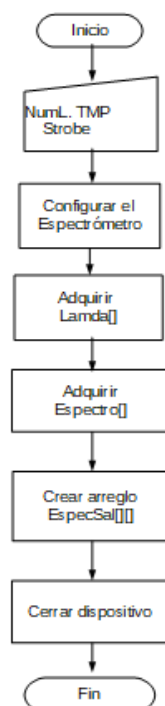


Figura 3. 26:
Diagrama de flujo del
subVI espectroCCD.

3.2.4. SubVís para el guardado de datos

EN esta sección se explicarán los subVIs necesarios para poder guardar y organizar la información generada en un archivo HDF5, como se mencionó en la sección 3.2, se desea generar un arreglo multidimensional en el que se pueda organizar la información emulando un “sistema de carpetas”, el proceso inicia creando los arreglos multidimensionales en los que se almacenará la información, esto se realiza con el tamaño de los arreglos que contienen los valores del parámetro que controla cada dispositivo y el arreglo “orden”, posteriormente se crea un clúster con cuatro arreglos de diferente dimensión, por último el proceso de almacenamiento de datos se realiza en el segundo ciclo FOR que se muestra en la figura 3.9, excepto para los datos de la cámara y el espectrómetro que se realizan en el tercer ciclo. Los subVIs necesarios para realizar esta tarea se describen a continuación:

- **Índices**

Este subVI utilizado para proporcionar los parámetros necesarios para inicializar los arreglos multidimensionales y para controlar el llenado de la información en éstos, su función es tomar las dimensiones de los arreglos que alimentan al subVI “conector2” y ordenarlos y enviarlos al arreglo “dimensiones” de acuerdo a como aparecen los dispositivos a los que pertenecen en el arreglo “Orden”, posteriormente, si aparece un elemento con dimensión cero, se mueve hasta el último lugar del arreglo “dimensiones”. En el caso de que se utilice este subVI para controlar el llenado de los arreglos, este también tiene como entradas los valores de los contadores de los ciclos FOR utilizados en el programa para controlar los subVIs “conector2” utilizados para proporcionar los valores adecuados a los dispositivos de control. En el caso del llenado de los arreglos, estos contadores son necesarios para indicar la posición adecuada en la que se tiene que colocar la información que se obtiene del dispositivo en cuestión. Este subVI crea un arreglo “índices” con estos valores y se encuentran ordenados de acuerdo con los arreglos “Orden” y “dimensiones”. El diagrama de flujo de este subVI se muestra en la figura 3.27. en este subVI se utilizó el módulo Array de LabVIEW para manipular estos arreglos. El primer paso es crear los arreglos

“dimensiones” y “índices”, ambos son de dimensión tres, el primero se crea utilizando el arreglo “orden”, en donde se toman los tres primeros dispositivos que aparecen es éste, debido a que éstos son los dispositivos de control que seleccionó el usuario, y se llena el arreglo con las dimensiones de los arreglos mencionados anteriormente, el arreglo “índices” se crea con los valores que proporcionan los ciclos FOR anidados descritos anteriormente, en caso de que este subVI se utilice para la creación de los arreglos multidimensionales no es necesario introducir los valores de los índices. Por último, se ordenan los arreglos creados de tal forma que los elementos que son ceros en el arreglo “dimensiones” se encuentren en los últimos lugares de éste, el arreglo “índices” se ordenan sus elementos de acuerdo como se vayan ordenando los elementos del arreglo “dimensiones” porque los valores de este arreglo pertenecen al mismo dispositivo, por lo tanto, si un valor cambia de posición en un arreglo, entonces tiene que cambiar también en el otro.

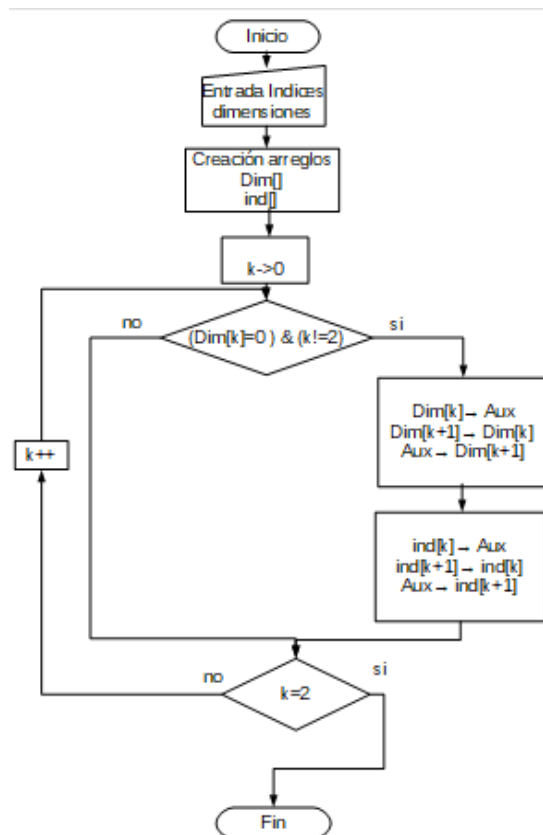


Figura 3. 27: Diagrama de flujo del subVI Indices.

- **Arreglosinic**

Este subVI contiene los programas utilizados para inicializar los arreglos multidimensionales, se utilizan dos de estos en el programa principal, uno para inicializar los arreglos que se utilizarán en el guardado de los datos de la cámara y el espectrómetro y otro para los dispositivos restantes. Este subVI tiene como entrada el arreglo “dimensiones” descrito anteriormente, con él se crean las variables “dimensión disp. 1”, “dimensión disp. 2” y “dimensión disp. 3”, que determinarán el tamaño de las dimensiones del arreglo y las variables “dimensión y” y “dimensión x” proporcionan el tamaño de las últimas dos dimensiones del arreglo, estas dos variables son alimentadas por el tamaño de la región que seleccionó el usuario para el caso de que se trate de la cámara y en los otros casos la “dimensión y” tiene un valor de 2 y “dimensión x” tiene el valor del último elemento del arreglo “dimensiones” distinto de cero.

Como se explicó en ese arreglo existen los subVIs que inicializan los arreglos multidimensionales, el que crea el arreglo de orden 2 utiliza las variables “dimensión y” y “dimensión x”, el de dimensión tres además de estas dos variables, también utiliza el “dimensión disp. 1” el de dimensión 4 se agrega el “dimensión disp. 2” y por último el de dimensión 5 utiliza todas las “dimensión disp..”.

Una vez que se hayan creado estos arreglos, se agregan a un clúster y éste se conecta a 4 registros de corrimiento que se encuentran en cada ciclo FOR, cada uno irá asignado a almacenar los datos de un dispositivo.

- **ASarregloinic**

Existen distintas versiones de este subVI que es utilizado para crear e inicializar los arreglos multidimensionales, para inicializar y crear restos arreglos se utiliza la función “initialize array” de LabVIEW, en donde se introducen los parámetros que se mencionaron anteriormente.

○ **NUEVOARREGLO**

Este subVI se utiliza cuando es necesario guardar datos en que no pertenecen a la cámara o el espectrómetro, la función de este subVI es eliminar el último elemento distinto de cero de los arreglos “dimensiones” e “índices”, esto se realiza porque para formar las gráficas se necesitó los datos del último dispositivo de control utilizado y el dispositivo de adquisición en cuestión, por lo que el arreglo que se formará necesitará ser una dimensión menor en comparación con el que se necesitaría para los dispositivos del estado “CCD”.

○ **Arreglos**

Este subVI es utilizado para seleccionar en qué arreglo se tiene colocar la información que se obtiene del experimento, este subVI utiliza como entradas los valores de los arreglos “índices”, “posiciones” y “Orden”, los arreglos con los valores que se generan en los registros de corrimiento descritos en la sección 3. 2.2, puede aceptar hasta tres clústeres elaborados por el subVI “arreglosinic”, el proceso comienza seleccionando los últimos dos elementos del arreglo “Orden”, ya que estos representan los dispositivos de adquisición que se están utilizando, posteriormente se crea un arreglo con estos elementos, en caso de que este subVI se utilice para guardar los datos de la cámara o el espectrómetro, primero se utiliza un subVI que busque el estado “CCD” en el arreglo “Orden” y sólo agrega al arreglo este elemento y si se utiliza para guardar datos de otros dispositivos se crea un arreglo “Orden2” que no contenga el elemento “CCD”. Así mismo se crea un arreglo de dimensión tres con los clústeres que contienen los arreglos, después estos dos arreglos creados se indexan en un ciclo FOR y alimentan una estructura case, la cual se alimenta con el arreglo que contiene los últimos elementos del arreglo “Orden”, esta estructura es utilizada para poder organizar la información de acuerdo al dispositivo en cuestión, ya que dentro de esta estructura se encuentra otro case, el cual es controlado con el número de elementos en el arreglo “dimensiones” que son distintos de cero, con este valor se sabe cuál es el número de dimensiones del arreglo que corresponde al dispositivo en cuestión, dentro de este segundo case se encuentra el subVI “ASarreglo”, el cual es utilizado para llenar el arreglo multidimensional que se extrae del clúster de arreglos y

posteriormente se utiliza el subVI “GuardadoArreglos” para guardar la información en el archivo H5.

- **GuardadoArreglos**

Este tipo de subVI es utilizado para introducir la información que ha sido obtenida de los dispositivos de adquisición en el correspondiente arreglo multidimensional, al igual que los subVIs llamados “ASarregloinic” existen tres tipos de éste, uno para cada arreglo n-dimensional, en este programa se utiliza el módulo de LabVIEW llamado Replace Array Subset, el cual nos permite reemplazar una parte del arreglo por un arreglo de dimensión menor, a este módulo se le conectan los valores distintos de cero del arreglo “índices”, los cuales son utilizados para colocar el sub arreglo en la posición adecuada dentro del arreglo multidimensional, el sub arreglo se forma con los valores del dispositivo de adquisición y los valores del último dispositivo de control, excepto para la cámara y el espectrómetro, en donde los datos que entregan ya son un arreglo bidimensional.

- **GuardadoArreglos**

En este subVI se utiliza la librería llamada Live HDF5, la cual facilita la elaboración de este tipo de archivos. Este subVI acepta como entradas arreglos que van desde dos a cinco dimensiones, la enumeración (“Enum”) con el nombre del dispositivo del que se va a guardar la información, la variable “índice”, que indica el número de elementos distintos de cero del arreglo “índices” y el nombre del archivo que asignó el usuario en la interfaz gráfica descrita anteriormente, el proceso comienza creando o abriendo el archivo, según sea el caso, una vez que se logró esto se utiliza una estructura case que es controlada con la variable “Enum”, dentro de esta estructura se crea un grupo con el nombre del dispositivo y dentro de este grupo se localizará el arreglo multidimensional, para introducirlo se utiliza una estructura case que es controlada con el valor de la variable “índice”, en cada caso de esta estructura se coloca el módulo llamado “Simple H5Dwrite” que escribe el arreglo multidimensional en el archivo, finalmente se cierra el archivo HDF5.

4. Ejemplos de uso del software de control

Una vez que fue finalizado el programa para controlar el sistema, se realizaron ciertas pruebas para verificar su funcionamiento, cuya finalidad es observar que el programa se ejecute como se espera en una situación real. Para tal efecto, se utilizó una muestra con contactos que se muestra en la figura 4.1. La primera actividad que se realizó fue escanear la superficie de un contacto para determinar la resolución y el comportamiento de los espejos durante en el movimiento de estos, la siguiente prueba consiste en mover la montura rotatoria y realizar mediciones de corriente-voltaje sobre la muestra, y finalmente se realizó una secuencia que sería utilizada para medir el efecto Kerr, la cual consiste en desplazar la montura rotatoria cierto ángulo y en cada desplazamiento variar el voltaje aplicado y adquirir datos del amplificador lock in y el multímetro.

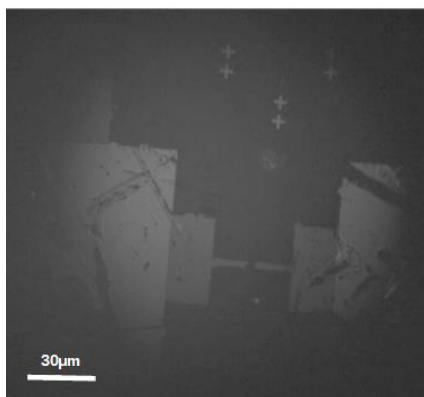


Figura 4. 1: Imagen de la sección de la muestra utilizada en los experimentos descritos en este capítulo.

4.1. Mapeos con el láser

Se realizaron mapeos con un láser He-Ne, con la finalidad de determinar la resolución de los espejos galvanométricos, que consiste en realizar un barrido de cierta área para establecer la resolución de los espejos para este láser. Dicho escaneo se realizó en el contacto de mayor tamaño, como el que se muestra a la derecha en la figura 4.1. Para establecer los intervalos que se utilizarían en la medición se desplazó el haz del láser una distancia que equivalía a 30 micrómetros y se obtuvo que se necesitaba aplicar

un voltaje de 0.043 Volts para desplazar el haz dicha distancia. Conociendo esto se realizaron los escaneos de 7 a 35 micrómetro con intervalos de 7 micras. Para este caso se generaba un arreglo de tres dimensiones, donde la primera dimensión equivalía a la posición en la que se encontraba el haz y las dos restantes eran ocupadas por el arreglo que se genera con los datos de la cámara, tal como se explica en la sección 3.2.3. Posteriormente, con ayuda de un software comercial se puede procesar el archivo h5 de tal forma que se puede guardar el arreglo multidimensional generado y reconstruir las imágenes en escala de grises que se adquieren de la cámara.

Para poder darse una idea de cómo se observarían todos los spots simultáneamente en la muestra, se promedian todas las imágenes y se obtienen las imágenes que se muestran en la figura 4.2, en la cual se muestran los mapeos de 35, 21 y 7 micras, en los que se puede observar que, dado el diámetro del haz del láser es grande (aproximadamente de 8 micras de ancho), se reduce la distancia entre los spots y se pierde resolución rápidamente: primero en la dirección horizontal y posteriormente en la vertical. Esto es debido a que el haz tiene una forma ovalada y para el caso de siete micras no es posible observar los spots individualmente.

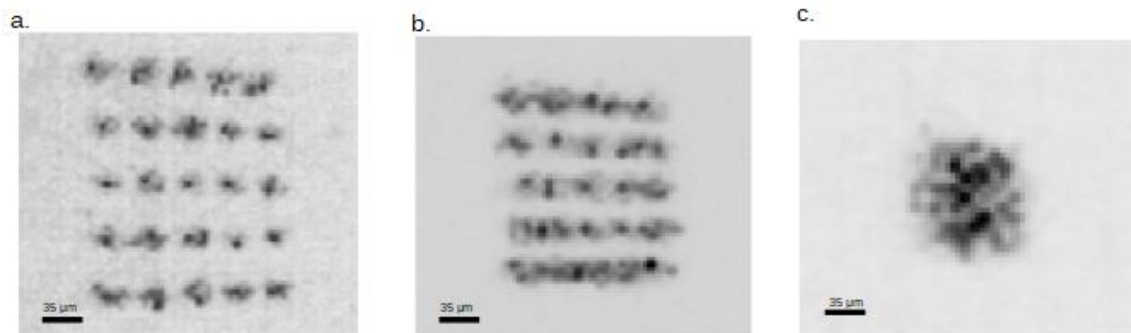


Figura 4. 2: Imágenes que muestran los mapeos realizados a diferentes intervalos en la muestra a. 35 micras, b. 21 micras y c. 7 micras.

4.2. Curvas I-V

En la figura 4.3 se muestran las mediciones de corriente voltaje que se obtuvieron de rotar la montura rotatoria de 0 a 3 grados y de variar el voltaje de 2 a 10 volts, se obtuvo una respuesta óhmica, es decir existe una relación lineal entre la corriente y el voltaje,

con esto se muestra que los arreglos multidimensionales si están almacenando la información de forma correcta.

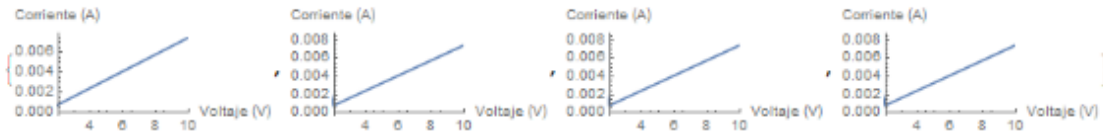


Figura 4. 3: Mediciones que se almacenaron en la prueba de corriente-voltaje.

4.3. Implementación de una secuencia de medición con varios dispositivos de adquisición

Por último, se realizó una prueba en la que se necesitara almacenar información de distintos dispositivos, en este caso de la cámara, la corriente, el amplificador Lock in y el multímetro, como dispositivos de control se utilizaron la montura rotatoria y la fuente de voltaje, por lo que cada vez que la montura cambia de posición, se realiza una secuencia de aplicaciones de voltaje y lectura de los dispositivos de adquisición mencionados anteriormente, esta secuencia de medición es muy similar a la utilizada en la medición de efecto Kerr magnetoóptico por lo que nos da una idea del funcionamiento del programa. En la figura 4.4 se muestra una imagen del software HDFView, en la que se muestran cuatro carpetas, las cuales contienen los correspondientes arreglos con la información obtenida por cada dispositivo, la dimensión de éstos depende del dispositivo, para el caso de la cámara es de dimensión 4 y para los restantes dispositivos es de dimensión 3.

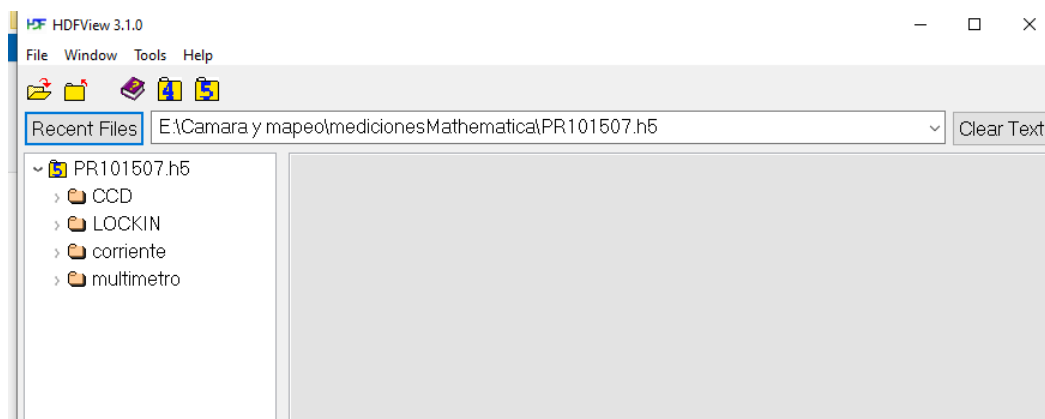


Figura 4. 4: imagen del programa HDFView, utilizado para visualizar los archivos HDF5.

En la figura 4.5 se muestra las gráficas que muestran los datos que se obtienen del amplificador lock in obtenidas en esta secuencia.

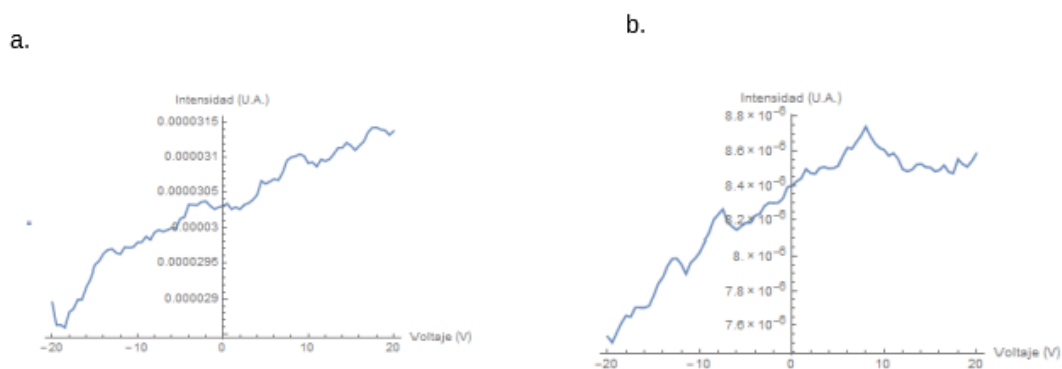


Figura 4. 5: gráficas de las lecturas del amplificador lock in en función del voltaje aplicado, obtenidas en dos distintas posiciones de la montura rotatoria, a. 0° b. 10°.

5. Conclusiones

Se logró desarrollar un software que es capaz de controlar el sistema de medición óptica con el que se cuenta en el laboratorio de Espectroscopía III del Instituto de Investigación en Comunicación óptica, el cual se utiliza en gran medida para realizar mediciones de efecto Kerr magnetóptico. Este software está realizado de tal forma que permite al usuario controlar más parámetros que los programas similares con los que cuenta el instituto, tales como permitir al usuario qué dispositivos desea utilizar y el orden el que el software los manipulará; además de controlar sus parámetros de operación. Esta flexibilidad permite al usuario poder realizar otro tipo de experimentos con este sistema, tales como mediciones de reflectancia, medidas de corriente-voltaje en muestras o incluso fotoluminiscencia. Este programa permite ser modificado sin invertir mucho tiempo en éste, debido a que el “núcleo” de este programa es una máquina de estados, la cual contiene los subVIs que controlan los dispositivos del sistema y a la cual se le pueden agregar o eliminar estados fácilmente y sólo se necesita modificar las opciones que puede tomar el arreglo que controla esta máquina y los subVIs que procesan las opciones de operación de los dispositivos, para así poder agregar o eliminar un aparato de este programa. Para almacenar la información se utilizaron los archivos HDF5, los cuales permiten almacenar grandes cantidades de información en un solo archivo de forma ordenada. En el software desarrollado se crean arreglos multidimensionales para facilitar el procesamiento de la información obtenida durante cualquier experimento realizado en el sistema.

Como trabajo futuro se tiene pensado agregar más dispositivos al programa, tales como un monocromador para poder expandir sus capacidades y poder ser utilizado en otros experimentos como fotorreflectancia por excitación, además de que se tiene pensado en incluirle subrutinas en Python o C para aumentar la velocidad del programa.

6. Referencias

- [1] J. I. T. O., «EFECTO KERR MAGNETOÓPTICO ANTECEDENTES Y APLICACIONES,» *Scientia et Technica*, vol. 32, pp. 437-442, 2006.
- [2] P. Weinberger, «John Kerr and his effects found in 1877 and 1878,» *Philosophical Magazine Letters*, p. 1–11, 2008.
- [3] D. J. y. J. O. A.J. Smith, «Revisi' on del efecto Kerr magneto óptico,» *Revista Mexicana de la Física E*, vol. 55, p. 61–69, 2009.
- [4] S. D. B. Z. Q. Qiu, «Surface magneto-optic Kerr effect,» *REVIEW OF SCIENTIFIC INSTRUMENTS*, vol. 71, nº 3, pp. 1246-1255, 2000.
- [5] J. M. D. COEY, *Magnetism and Magnetic Materials*, Cambridge: Cambridge University Press, 2009.
- [6] V. Protopopov, «Magneto-Optics,» de *Practical Optoelectronics, an illustrated guide for laboratory*, New York, Springer, 2014, pp. 231-252.
- [7] T. H. Group, «THE HDF5® LIBRARY & FILE FORMAT,» 2019. [En línea]. Available: <https://www.hdfgroup.org/solutions/hdf5/>. [Último acceso: 15 09 2019].
- [8] L. RONALD, *LabVIEW for Engineers*, New Jersey: Prentice Hall, 2009.
- [9] Thorlabs, «Large Beam Diameter Scanning Galvo Systems, User Manual,» 18 10 2018. [En línea]. Available: <https://www.thorlabs.com/thorcat/20300/20381-D02.pdf>. [Último acceso: 16 10 2019].
- [10] National Instruments, «cRIO-9074,» National Instruments, [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es-mx/support/model.crio-9074.html>. [Último acceso: 17 10 2019].
- [11] ThorLabs, *K10CR1 Motorized Cage Rotator User Guide*, 2019.
- [12] Thorlabs, *PM100A Operation Manual*, 2019.
- [13] Stanford Reseach Systems, «Lock-In Amplifier SR510 & SR530,» [En línea]. Available: <https://www.thinksrs.com/products/SR510530.htm>. [Último acceso: 22 10 2019].
- [14] Tektronix, *Model 199 System DMM Scanner*, 2000.
- [15] National Instruments, «GPIB-USB-HS Dispositivo de Control de Instrumentos GPIB,» National Instruments, [En línea]. Available: <https://www.ni.com/es-mx/support/model.gpib-usb-hs.html>. [Último acceso: 20 10 2019].

- [16] Thorlabs, «CMOS Cameras: USB 2.0 and USB 3.0,» Thorlabs, 2019. [En línea]. Available: https://www.thorlabs.com/newgrouppage9.cfm?objectgroup_id=4024&pn=DCC1645C. [Último acceso: 22 10 2019].
- [17] Ocean Optics, *USB4000 Data Sheet*, Ocean Optics, 2016.
- [18] Tektronix, «2450 SourceMeter,» [En línea]. Available: https://www.tek.com/sites/default/files/media/media/resources/1KW-60904-0_2450_DataSheet_0.pdf. [Último acceso: 20 10 2019].
- [19] Thorlabs, *ITC4000 Series Operation Manual*, 2019.