



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS

DIVISIÓN DE ELECTRÓNICA Y COMPUTACIÓN

DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA

INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

PROYECTO MODULAR

DISEÑO Y ELABORACIÓN DE UN SISTEMA ÓPTICO PARA LA MEDICIÓN DE IRRADIANCIA

Alumno

Luis Antonio Bernache Santana

Asesor

M.C. Azael de Jesús Mora Núñez

Guadalajara, Jalisco, 30 de mayo de 2018



UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS EXACTAS E INGENIERÍAS
SECRETARÍA ACADÉMICA
COORDINACIÓN DE INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y ELECTRÓNICA

C. Luis Antonio Bernache Santana
Alumno de la Carrera en Ingeniería en
Comunicaciones y Electrónica
Presente

Número de oficio CDT/CCYE/P004/18
Código: 210747872

Por este conducto hacemos de su conocimiento el dictamen emitido por el Comité de Titulación de la Carrera de Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica con relación a su solicitud de aprobación del proyecto titulado: **Diseño y elaboración de un sistema óptico para la medición de irradiancia.**

Conforme al Dictamen número 1/2012/382, Resolutivo quinto, aprobados por el Consejo General Universitario de la Universidad de Guadalajara, se aprobaron los siguientes módulos:

Módulo de Electrónica Digital
Módulo de Electrónica Analógica
Módulo de Instrumentación y Control


Quedando asentada en el acta de sesión del Comité de titulación con fecha 16 de abril de 2018, con el folio número 044/18. Este Comité designa al Mtro. Azahel de Jesús Mora Núñez como Asesor quien dará seguimiento al desarrollo y termino del o los Proyectos Modulares.

De acuerdo al procedimiento académico-administrativo de la División de Electrónica y Computación, usted tiene un plazo de seis meses a partir de la fecha de emisión de este documento para la presentación de su proyecto.

CUCEI
COORDINACIÓN DE PROGRAMA DOCENTE
EN INGENIERÍA EN COMUNICACIONES Y
ELECTRÓNICA



Atentamente
"PIENSA Y TRABAJA"
Guadalajara, Jal., a 17 de Mayo de 2018


Dra. Alicia García Arreola
Presidenta del Comité de Titulación de la Carrera en
Ingeniería en Comunicaciones y Electrónica

AGA/gygn

INTRODUCCIÓN

Un Radiómetro es un equipo o instrumento usado para medir la intensidad de energía radiante de los sistemas ópticos. La mayoría de estos instrumentos utilizan fotocélulas como sensores. Para que los radiómetros puedan medir la radiación emitida de una longitud de onda específica o de un cierto ancho espectral, normalmente, se utiliza un filtro óptico el cual ayuda a eliminar las longitudes de onda no deseadas.

Un radiómetro básico está constituido por dos módulos. El modulo uno, consiste en un detector que es un receptor óptico que convierte la señal óptica en una señal eléctrica y recupera los datos transmitidos. Su elemento de entrada es el fotodetector, que convierte la luz en corriente eléctrica por medio del efecto fotoeléctrico. Los receptores ópticos, en general, deben tener alta sensibilidad, respuesta rápida, bajos niveles de ruido, bajo costo y una alta confiabilidad. En el caso de sistemas de fibra óptica, el área fotosensible del fotodetector debe ser comparable con el núcleo de una fibra. Los requisitos antes mencionados son satisfechos de una mejor manera por detectores fabricados con base en materiales semiconductores. El modulo dos, consiste en un modulador que periódicamente interrumpe un rayo de luz también llamado chopper. Hay tres tipos disponibles: choppers de discos giratorios de frecuencia variable, choppers de horquilla de sintonización de frecuencia fija y obturadores ópticos. Un interruptor de disco giratorio fue famoso en 1849 por Hippolyte Fizeau en la primera medición no astronómica de la velocidad de la luz.[1][2]

La propuesta del trabajo presente es desarrollar un sistema de detección de intensidad de luz en el rango de lo visible de bajo costo y que su vez nos permita poder hacer modificaciones a sus módulos para que pueda ser utilizado para diferentes propósitos.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Estos dispositivos son comercializados a un alto costo, a pesar que son instrumentos básicos para los laboratorios de óptica y fotónica. Por esta razón son de difícil acceso para los laboratorios que no cuentan con mucho presupuesto.

JUSTIFICACIÓN

Actualmente estos dispositivos son muy utilizados en los laboratorios de metrología óptica para medir la intensidad de luz de salida de los sistemas ópticos. Con los cuales se realizan mediciones de alta resolución. Desafortunadamente estos dispositivos no son de fácil acceso debido a su alto costo comercial. Por lo que es necesario desarrollar un detector de bajo costo y con un funcionamiento adecuado para el apoyo a la investigación científica.

ANTECEDENTES

Casi para cada tipo de semiconductores de unión existe un dispositivo óptico análogo que responde a la luz en vez (o en conjunción) de a una señal eléctrica. La primera vez que se observó que un diodo semiconductor era sensible a la luz, tuvo lugar probablemente al observarse un considerable aumento de la corriente de pérdida de un diodo de unión, al exponerlo a la luz.

La Figura 1 muestra el símbolo, la estructura básica y el funcionamiento de un diodo de unión pn de silicio. Cuando son absorbidos por el dispositivo fotones cuya energía es mayor que la del intervalo de energía, se generan pares electrón-hueco. Una de las ventajas principales del dopado es introducir impurezas que originan electrones o huecos muy próximos a la banda de conducción; por tanto se requiere menor energía para excitar estos estados añadidos hasta la banda de conducción.[4]

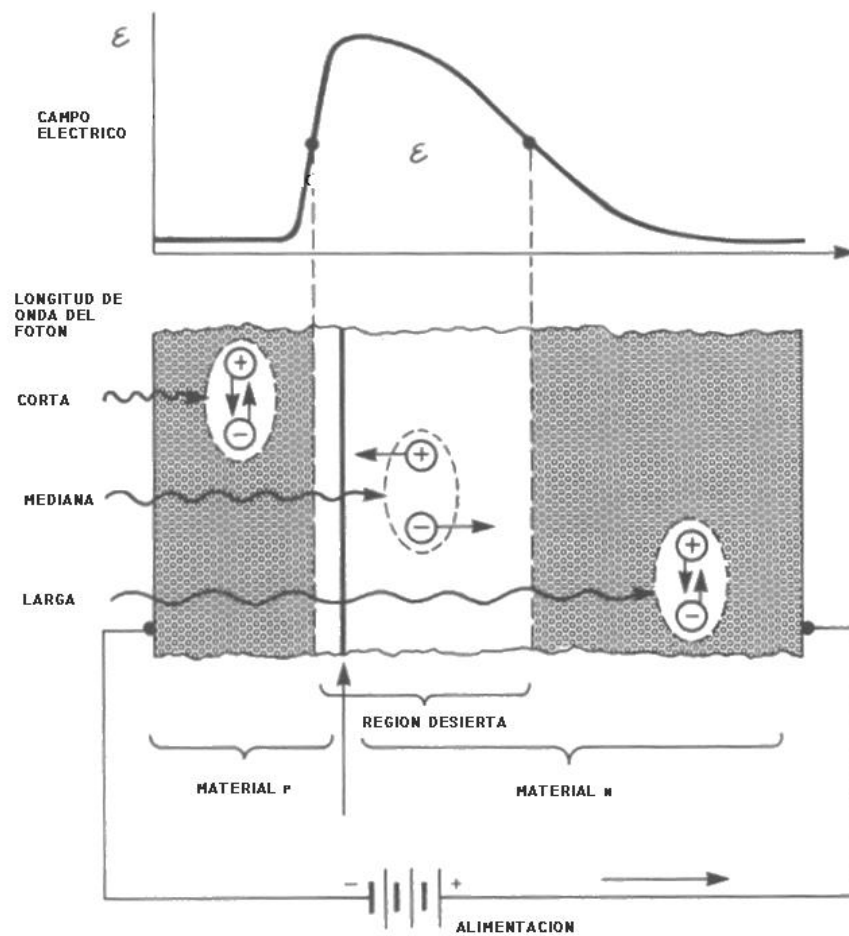


Figura 1: Corte y funcionamiento de un fotodiodo de unión p-n.

Los orígenes de la teoría ondulatoria son adjudicados al matemático holandés Christiaan Huygens, pues en el año 1678 describió y explicó lo que hoy son las leyes de reflexión y refracción. Huygens definió a la luz como un movimiento ondulatorio de las partículas que conforman un medio, semejante al que se produce con la propagación del sonido. Esta teoría de la luz renació de las manos del doctor Thomas Young, quién añadió un nuevo concepto fundamental, el llamado principio de interferencia. Más tarde, Augustin Fresnel estableció que el comportamiento de la luz correspondía a una onda transversal.[5]

El concepto clásico de una onda transversal viajera es el de una perturbación autónoma de un medio que se mueve en el espacio transportando energía e impulso, como se describe en la Figura Una onda transversal cuyo perfil es descrito mediante las funciones seno y coseno es conocida como onda sinusoidal, onda armónica simple o simplemente onda armónica. La figura 2 es una práctica común representar la propagación de una onda electromagnética sólo utilizando la expresión para campo eléctrico ya que existe una relación directa con el campo magnético. [3][5]

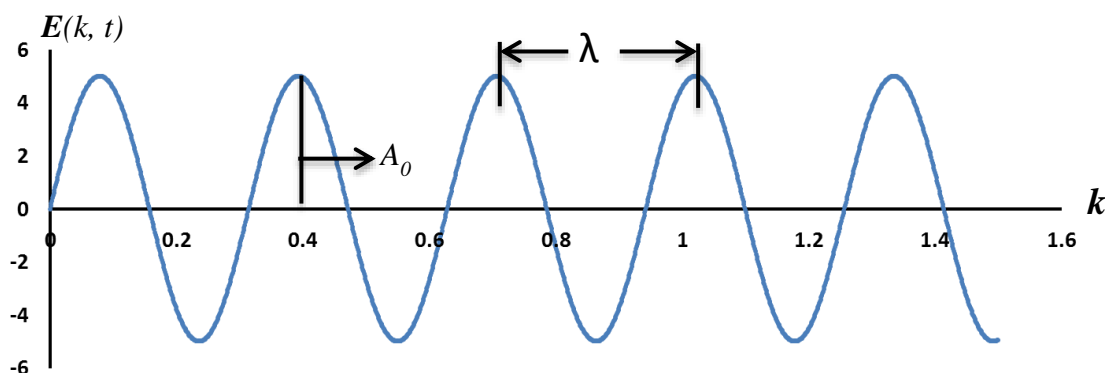


Figura 2: Ilustración de una onda armónica

James Clerk Maxwell publicó, en 1867, una descripción completa de la teoría electromagnética. En este manuscrito, Maxwell explicaba que el espectro electromagnético es el rango de todas las radiaciones electromagnéticas posibles. La banda de frecuencias que se conocía en ese entonces se extendía solamente desde el infrarrojo, pasando por el visible hasta el ultravioleta. Generalmente, la radiación electromagnética se clasifica por la longitud de onda y se divide en los siguientes intervalos: ondas de radio, microondas, infrarrojo, región visible, ultravioleta, rayos x y rayos gamma. Esta clasificación se ilustra en la Figura 3. El intervalo espectral clasificado como visible (aproximadamente de 400 a 700nm) es conocido como región óptica debido a su antecedente histórico y tiene su principal aplicación en el dominio fisiológico humano.[5]

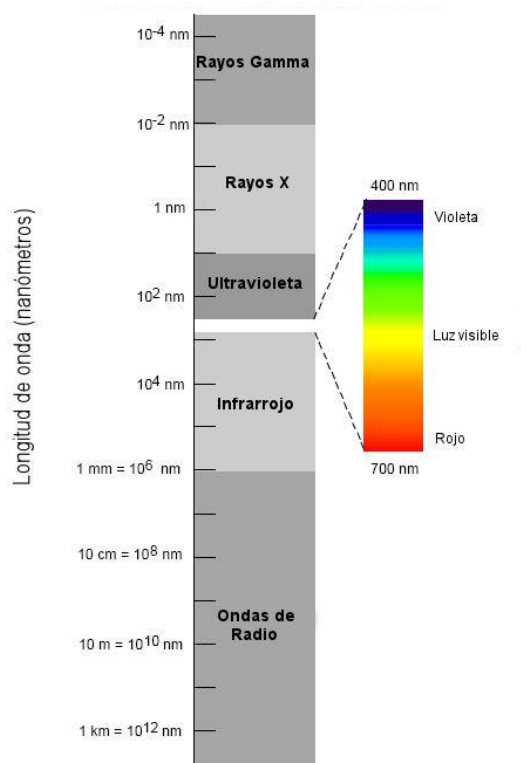


Figura 3: Espectro electromagnético

A lo largo de la historia humana, la luz ha jugado un papel importante en la medicina. La historia de la luz como una terapia de sanación, especialmente aquella proveniente del sol, se remonta hasta los antiguos egipcios y continúa con los romanos, los hindúes y los griegos, quienes crearon templos para enfatizar sus poderes terapéuticos para curar el cuerpo, la mente y el alma. La contribución de la luz a la medicina ha crecido a lo largo de la historia humana a la par con la evolución de la ciencia y la tecnología.

La luz presenta una naturaleza dual compleja pues puede ser descrita como una onda electromagnética o como una corriente de partículas denominadas fotones. La aplicación de un modelo u otro depende del experimento que se esté realizando. Ambos modelos son necesarios para describir el espectro completo del fenómeno de la luz. La interacción de la luz con la estructura atómica de la materia es descrita mediante la óptica cuántica, teoría que considera como modelo la naturaleza de la luz como una partícula. Por otro lado, la refracción, difracción, interferencia y polarización son perfectamente descritas mediante el modelo ondulatorio, la cual se basa sobre la teoría electromagnética clásica.[5]

HIPÓTESIS

Utilizando un modulador espacial, un fotodetector y un software de procesamiento como LabVIEW se puede medir la intensidad resultante de un sistema óptico la cual es varia con respecto al tiempo.

METODOLOGÍA

Primeramente se realizará una revisión de los antecedentes y posteriormente se diseñara e implementará el circuito eléctrico para el funcionamiento del sensor. Una vez que se tenga caracterizado el sensor se diseñara una PCB para el montaje del mismo. Por medio de SolidWorks se diseñara una pieza que tendrá la función de ser el modulador temporal (choppers). La eléctrica que nuestro fotodetector arroje será adquirida por el microcontrolador y este a su vez estará en comunicación con LabVIEW. Este programa será el encargado de procesar la información, y el cual se diseñará una interfaz de usuario en donde se muestre el funcionamiento del sistema.

DISEÑO Y FASE DE PROTOTIPADO DEL PROYECTO

En la Figura 4 se muestra el funcionamiento del sistema que se está proponiendo, en las siguientes paginas describiremos paso a paso el desarrollo del proyecto.

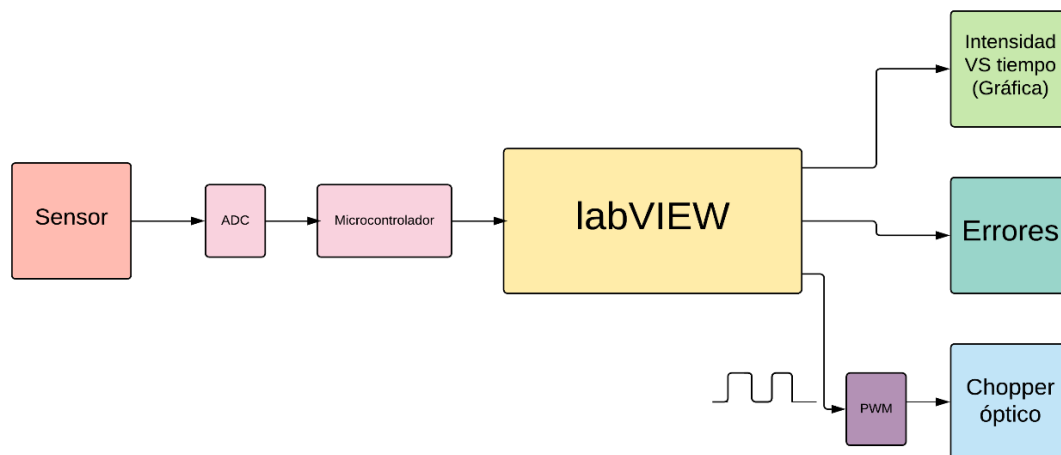


Figura 4: Diagrama a bloques del funcionamiento del sistema

Primeramente comenzaremos con la parte del proyecto que se encarga de realizar adquisición de datos, mismos que son arrojados por nuestro fotodetector. Se utiliza el microcontrolador ATM328 el cual se encuentra montado en un sistema mínimo en donde contamos con un ADC. En este caso los 10 bits de resolución que nos brinda el puerto del microcontrolador no son

suficientes para poder hacer las lecturas deseadas, es por eso que se incluyó un ADC externo de 16 bits de resolución, más adelante se describirá la medida que se tomó para dar solución. El fotodetector está mandando pequeñas señales de voltaje es por eso que se tomó la decisión de incluir un ADC de más bits de resolución



Figura 5: Microcontrolador Atmega 328 y su sistema mínimo utilizada para adquirir información del sistema.



Figura 6: ADC de 16 bits de resolución que fue incluido al sistema.

En la Figura 6 se muestra como es el módulo ADC de 16 bits que fue utilizado para implementar este sistema, para fines de este proyecto el dispositivo fue configurado en modo diferencial utilizando dos de los cuatro canales de los cuales dispone en esta configuración. Este dispositivo se comunica con el microcontrolador por protocolo I2C, este dispositivo nos arroja 860 muestras

por segundo y contamos con un amplificador de ganancia programable además de un comparador digital en el mismo modulo

Circuito de acondicionamiento del fotodetector

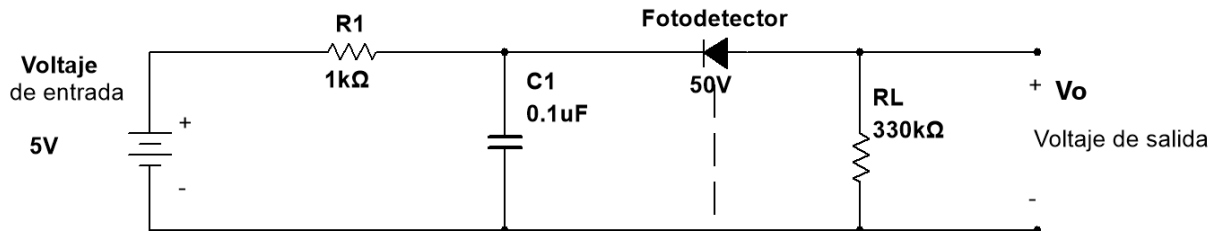


Figura 7: Diagrama eléctrico de acondicionamiento del sensor.

En la Figura 7 se muestra el circuito de acondicionamiento del fotodetector que estamos utilizando, la resistencia R_L fue calculada con la fórmula que el fabricante proporciona: $V_0 = P \times R \times R_L$ donde v_0 es el voltaje de salida, P es la potencia de cada longitud de onda, R es la responsividad del fotodetector y R_L es el conversor a voltaje con la resistencia de carga. Posterior a esto utilizamos una segunda ecuación para conocer la respuesta del sensor $R_x = \frac{V_0}{p \cdot R_L}$

Una vez que se realizó el acondicionamiento del fotodetector se procedió a diseñar e implementar una PCB para montar en la tarjeta de desarrollo. Esta PCB cuenta con las medidas exactas para que pueda ser montada sobre los puertos de la tarjeta de desarrollo con la que cuenta el microcontrolador. La tarjeta de desarrollo fue diseñada bajo la plataforma de EagleCAD

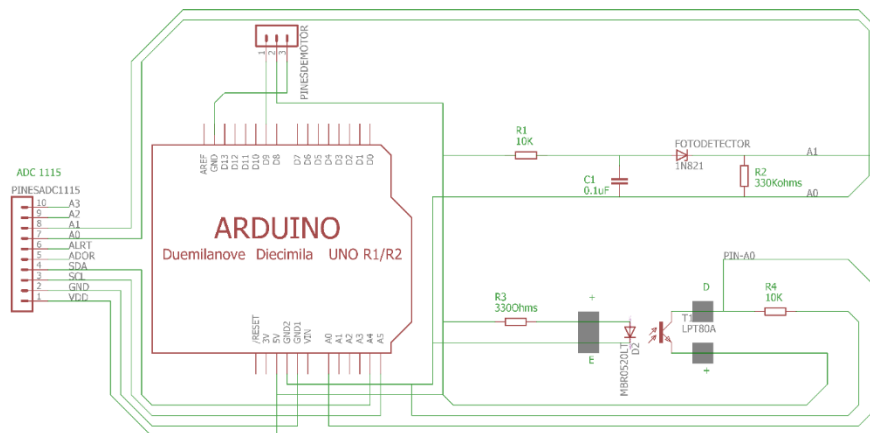


Figura 8: Diagrama eléctrico del diseño de la PCB.

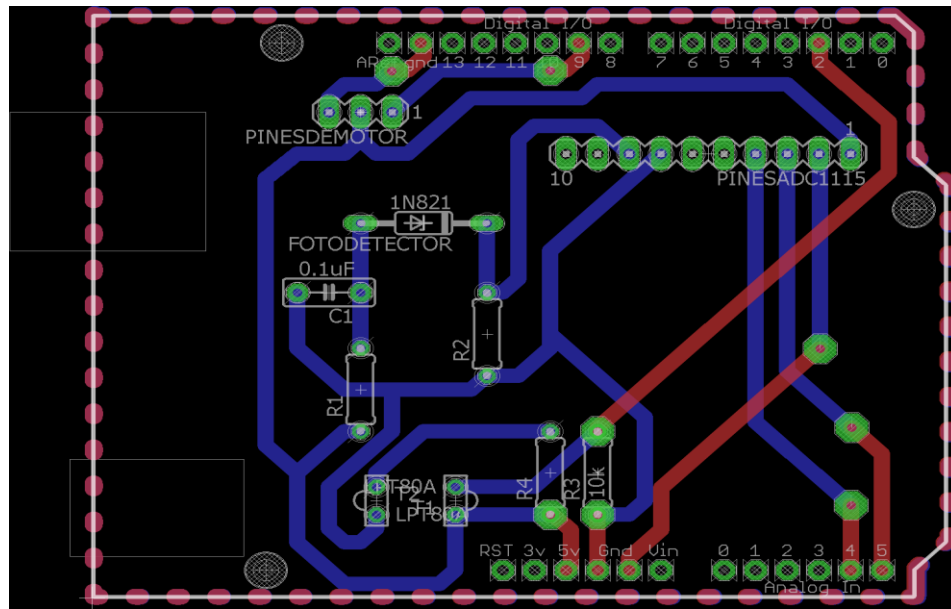


Figura 9: Diagrama de trayectoria de pistas de PCB.

En la Figura 9 se muestra el diseño de las pistas en la PCB, el diseño se propone a dos caras TOP (arriba, azul) y BUTTON (abajo, rojo).

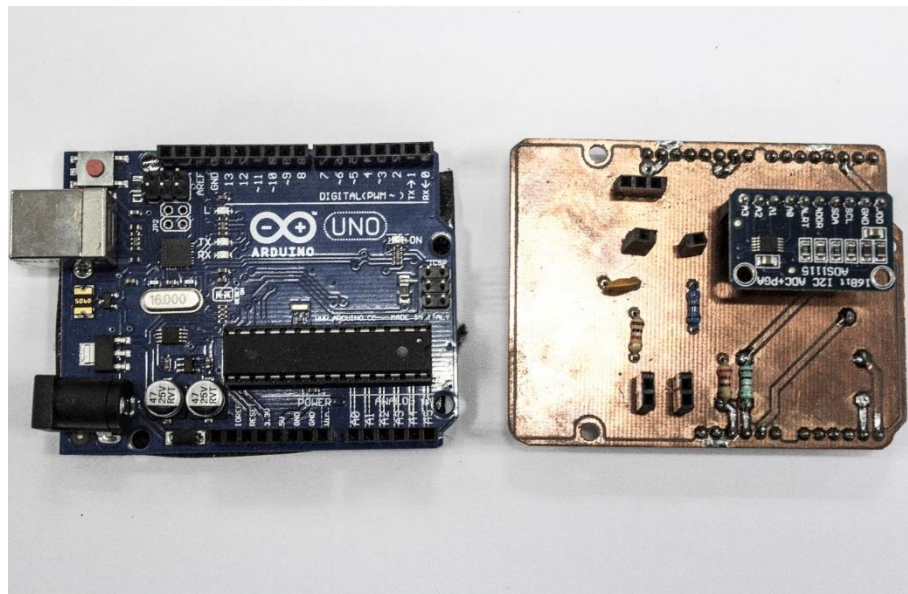


Figura 10: Muestra física del terminado de la PCB.

En la Figuras 10, 11 y 12 mostramos como queda el terminado de la PCB incluyendo el soldado de los componentes electrónicos que la conforman, como lo son, el ADC 1115, el circuito eléctrico de acondicionamiento del fotodetector así como del modulador espaciador del cual hablaremos más adelante.

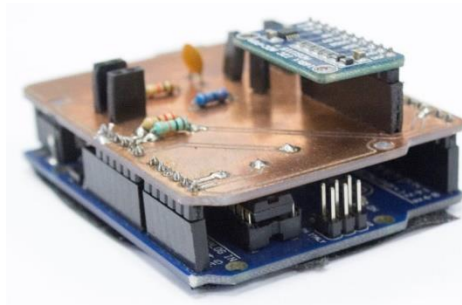


Figura 11: vista aérea lateral del acabado de la PCB

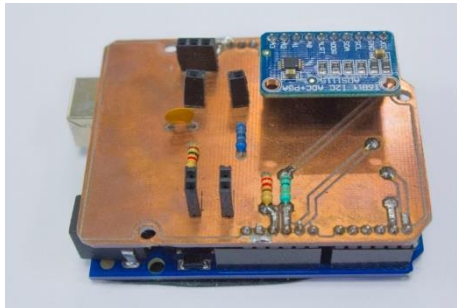


Figura 12: Vista aérea del acabado de la PCB

La Figura 13 nos muestra el modulador espacial que se diseñó e implemento. Primeramente mencionar que se diseñó cada pieza con un modelo en 3D con software solidworks se diseñó la base del motor y el espaciador tal como se muestra en la Figura 13



Figura 13: Montura en donde se coloca el láser con el que se harán pruebas.

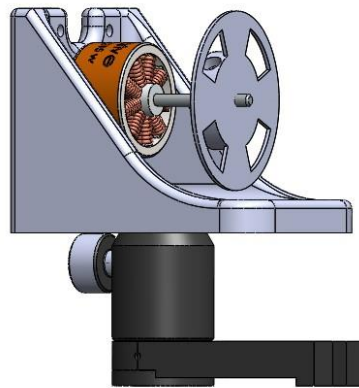


Figura 14: Aspecto en diseño 3D del modulador espacial, soporte de motor y espaciador.

Los moduladores espaciales o chopper óptico son dispositivos que hacen que un haz de luz interactúe a cierta frecuencia sobre el espaciador, esto según a la velocidad que vaya el motor. En nuestro sistema el uso de este dispositivo fue empleado para que el fotodetector no se saturara por la fuente de luz que insidia sobre el además de poder hacer mediciones y experimentos más visibles ya que cuando no se utilizaba el fotodetector no respondía correctamente a la fuente de luz con el que se estaban realizando los experimentos, misma fuente de luz de la que hablaremos a continuación.

La fuente de luz que utilizamos es un láser y utilizamos tres longitudes de onda para fines de experimentación 406, 532, 632 (azul, verde y rojo) respectivamente de igual forma se diseñó e implemento una montura como en el caso anterior, la montura sirve como base para nuestro apuntador o nuestra fuente de luz.



Figura 15: Vista de diseño en 3D e implementación de la montura del láser.

En la Figura 15 se muestra el diseño de la montura en 3D y posteriormente como se ve físicamente una vez impresa con material PLA (plástico).

El siguiente modulo no fue diseñado e implementado por nosotros ya que no se puede implementar en algún laboratorio este módulo de atenuación. El módulo de atenuación que estamos utilizando es un filtro neutro. El fin de utilizar un filtro neutro es porque este nos permite controlar la intensidad de luz que pasa sobre este.



Figura 16: Vista frontal del filtro neutro.

En la Figura 16 mostramos físicamente el filtro neutro que utilizamos en este proyecto, como se menciona en el párrafo anterior con estos filtros podemos, por medio de ángulos, hacer que nuestra fuente de luz incida sobre el material con cierta intensidad.

Por ultimo mostraremos el fotodetector que estamos utilizando como sensor de nuestro sistema. El fotodetector que estamos utilizando en el desarrollo de este proyecto cuenta con un gran espectro de trabajo mostrado en la Figura 17, además de su bajo costo.

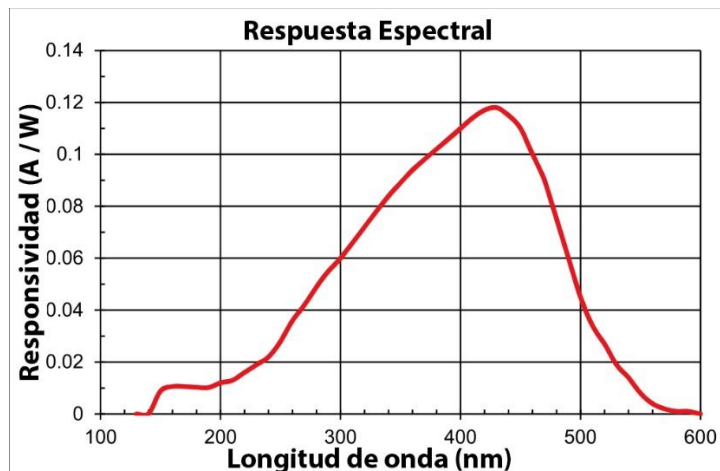


Figura 17: Respuesta espectral del sensor.

La Figura 17 nos muestra la respuesta del fotodetector que estamos utilizando en este proyecto que va desde los 150 nanómetros hasta los 600 nanómetros y como se puede apreciar su mejor rango de trabajo es entre los 350 y los 450 nanómetros, esto quiere decir que en la longitud de onda de 406 nanómetros (azul) estaríamos obteniendo resultados más favorables que con las demás longitudes de onda.

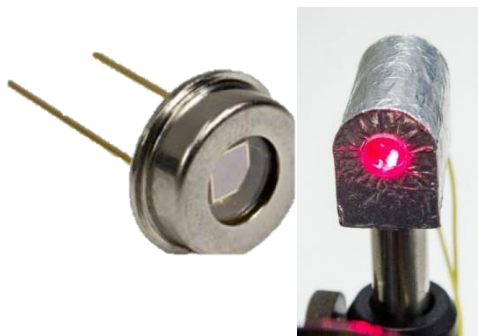


Figura 18: Imagen física del fotodetector y base de fotodetector.

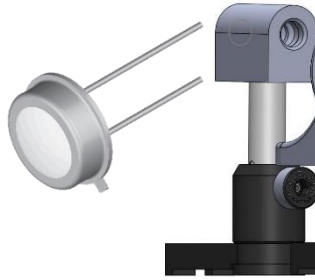


Figura 19: Vista del diseño 3D de la montura en donde se coloca el fotodetector y del fotodetector

En las Figuras 18 y 19 mostramos el diseño de la montura en 3D para colocar el fotodetector y también como se aprecia físicamente.

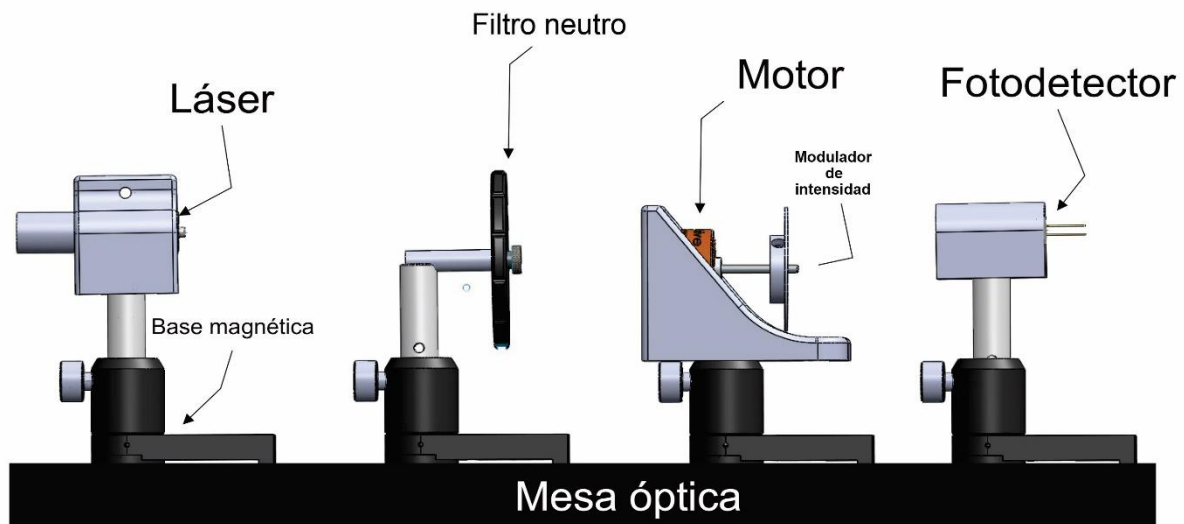


Figura 20: Imagen ilustrativa de la propuesta del sistema.

En la Figura 20 se muestra la configuración completa en 3D del sistema que estamos proponiendo en este proyecto con cada uno de sus módulos los cuales describimos anteriormente.



Figura 21: Sistema físicamente implementado con todos los módulos y vista del funcionamiento del software.

En la Figura 21 mostramos como se aprecia físicamente nuestro proyecto con cada módulo que lo integra y como debería ser montado. Cabe señalar que la imagen solo es demostrativa ya que las pruebas se deben realizar en una habitación con la mínima luz posible.

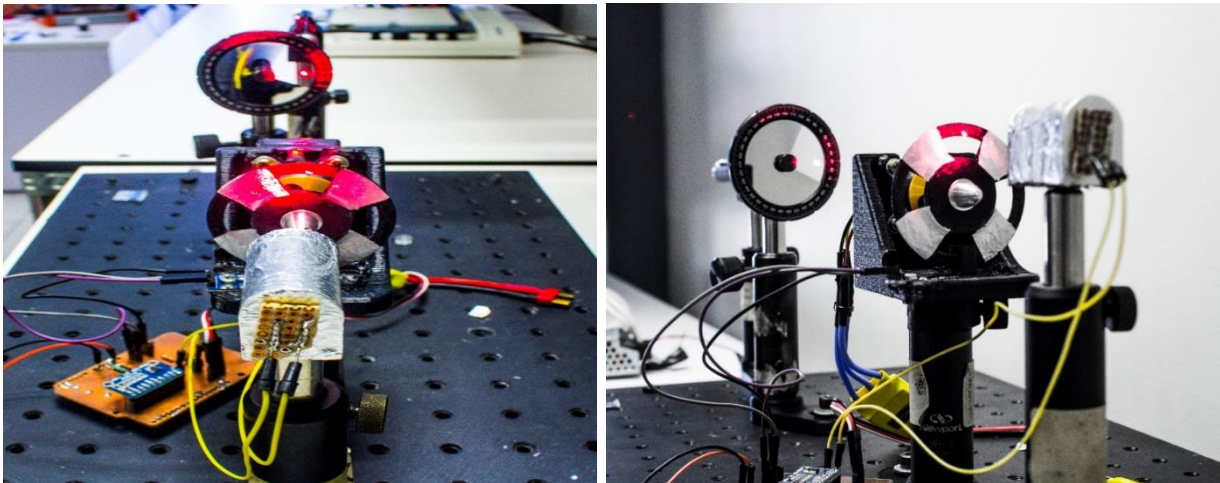


Figura 22: Vista trasera del montaje en físico del sistema.

La Figura 22 muestra una vista trasera del montaje del sistema y de cómo se vería funcionando como todos los módulos que los integran.

A continuación hablaremos de la parte del sistema que se encarga de hacer el procesamiento, mostrar resultados y controlar el modulador espacial, todo lo anteriormente dicho lo realiza el software LabVIEW. Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench (LabVIEW) por sus siglas en ingles es una plataforma y entorno de desarrollo para diseñar sistemas, con un

lenguaje de programación visual gráfico. Recomendado para sistemas hardware y software de pruebas, control y diseño, simulado o real y embebido.



Figura 23: Interfaz gráfica desarrollada.

La Figura 23 muestra la interfaz gráfica de nuestro sistema, una de las ventajas de utilizar esta plataforma de desarrollo de software es esta precisamente ya que conforme vas haciendo tu código la interfaz se va generando. En la interfaz gráfica que se desarrolló se muestran varias partes, tales como son: una barra para seleccionar el puerto “COM” con el que el microcontrolador va a trabajar y se comunicara a la computadora, otro elemento es la ventana que muestra las gráficas que son mostradas por las lecturas arrojadas por el fotodetector, posteriormente observamos una perilla y un botón de “ok” misma que controla la velocidad del sensor, por ultimo tenemos un menú para seleccionar la longitud de onda con la que se estará trabajando y un botón de stop para detener el sistema.

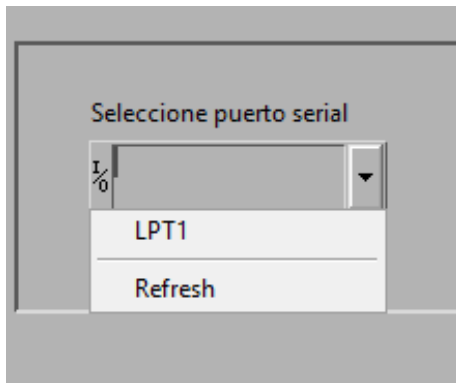


Figura 24: Menú de puerto serial.

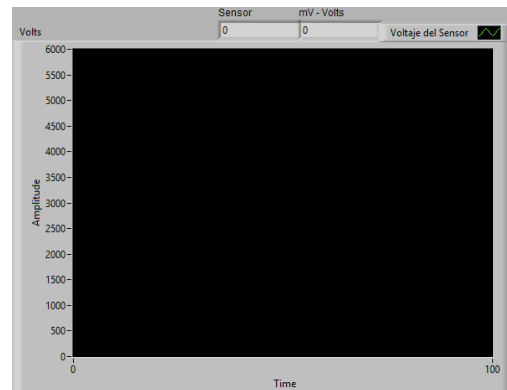


Figura 25: Ventana de gráficas.

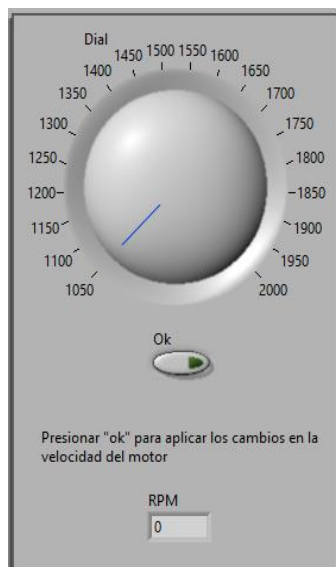


Figura 26: Perilla de control de velocidad del motor.



Figura 27: Menú de longitud de onda.

En las Figuras 24, 25, 26 y 27 mostramos las partes de la interfaz gráfica desarrollada en LabVIEW.

A continuación describiremos brevemente el funcionamiento de la programación de nuestro sistema. LabVIEW tiene un lenguaje de programación llamada o conocido como “G” ya que es gráfico.

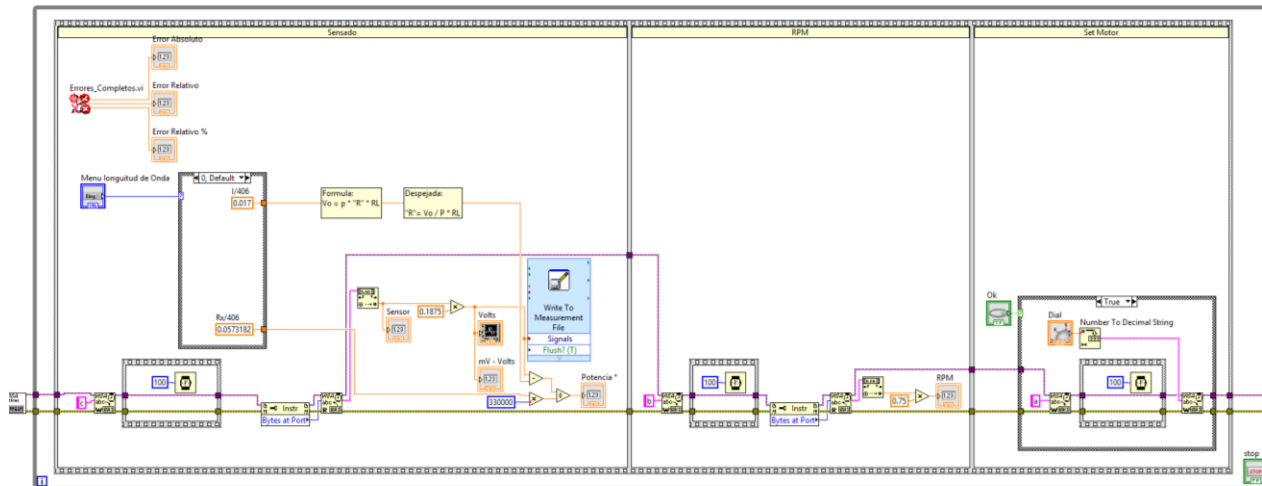


Figura 28: Código desarrollado en LabVIEW.

En la Figura 28 se aprecia el código en lenguaje G que se desarrolló en LabVIEW, en este programa se realizan dos tareas, una que realiza el procesamiento de las lecturas del fotodetector y a su vez procesa ecuaciones de la fórmula de respuesta del sensor además que cuenta con una función que guarda los datos de cada experimento en una hoja de cálculo. La otra parte es la que controla la velocidad a la que va el motor del modulador espacial.

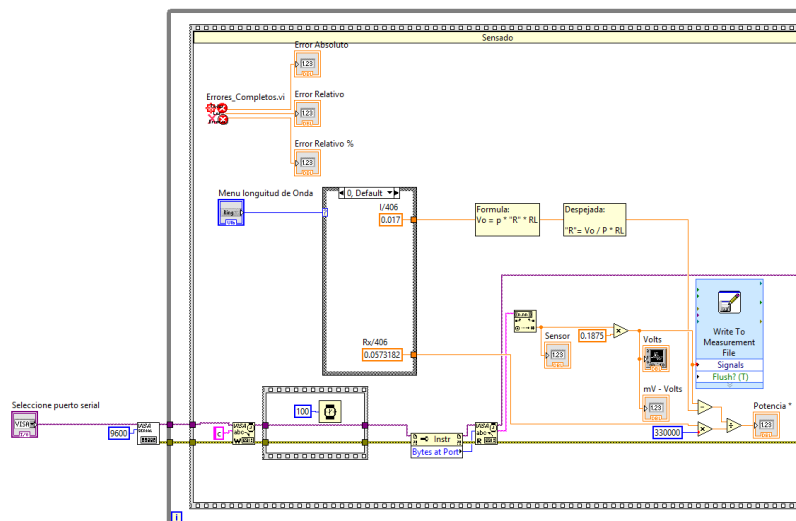


Figura 29: Primera parte del código.

En la Figura 29 se muestra la primera parte del código que es la que se encarga de configurar y conectar el puerto serial para que inicie la comunicación microcontrolador-LabVIEW. La misma parte del código estará procesando y proporcionando la información que capta el

microcontrolador del fotodetector, cada ecuación que se ejecuta está ligada directamente a la longitud de onda que le corresponde.

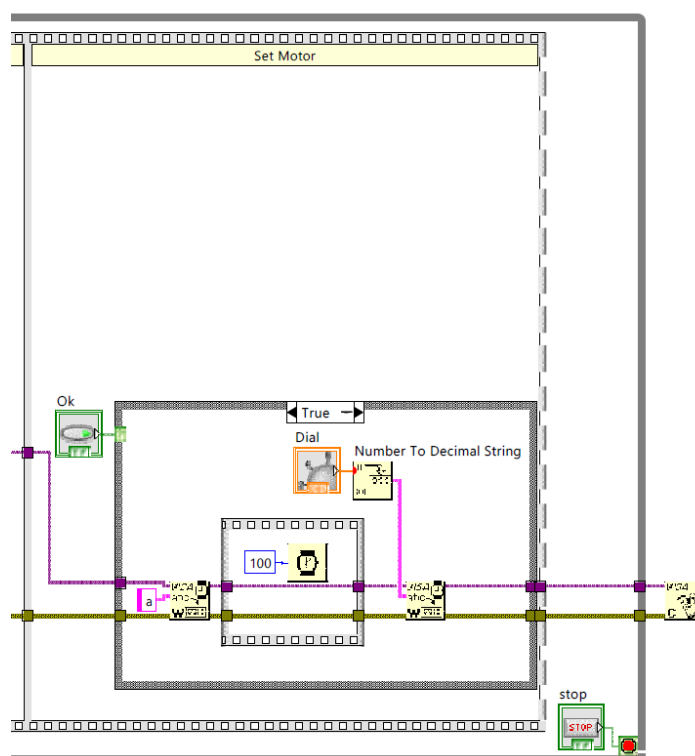


Figura 30: Parte del código que controla el motor del modulador espacial.

En la Figura 30 se muestra la parte del código que se encarga de controlar la velocidad a la que nuestro modulador espaciador va a girar. El motor cambiara de velocidad una vez que se modifique el nivel de la perilla y se presione el botón “ok”.

Cabe mencionar de nuevo que este programa se comunica con el microcontrolador a través de comunicación del puerto serial del cual tenemos acceso dicho puerto es conectado a un puerto USB de nuestra computadora en donde LabVIEW hace la ejecución y procesa las funciones la comunicación entre microcontrolador y LabVIEW se hace por medio de caracteres que son enviados por el microcontrolador y LabVIEW los interpreta, es así como LabVIEW sabe que función ejecutar según el usuario final este haciendo uso de la interfaz.

El código implementado para la comunicación entre el microcontrolador y LabVIEW se encuentra en los anexos de este reporte.

RESULTADOS

Una vez descritas todas las partes que componen este proyecto procederemos a la parte de los resultados experimentales.

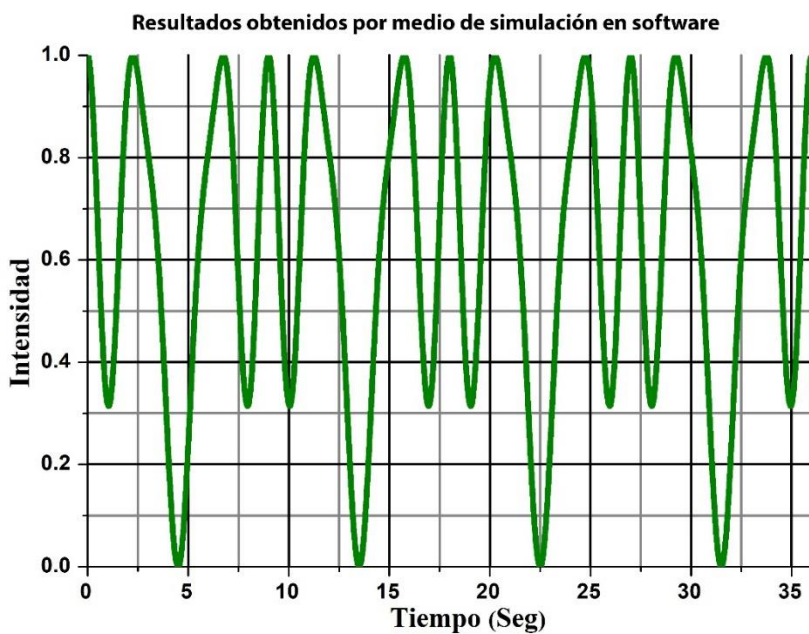


Figura 31: Graficas mostradas por la simulación empleada por software

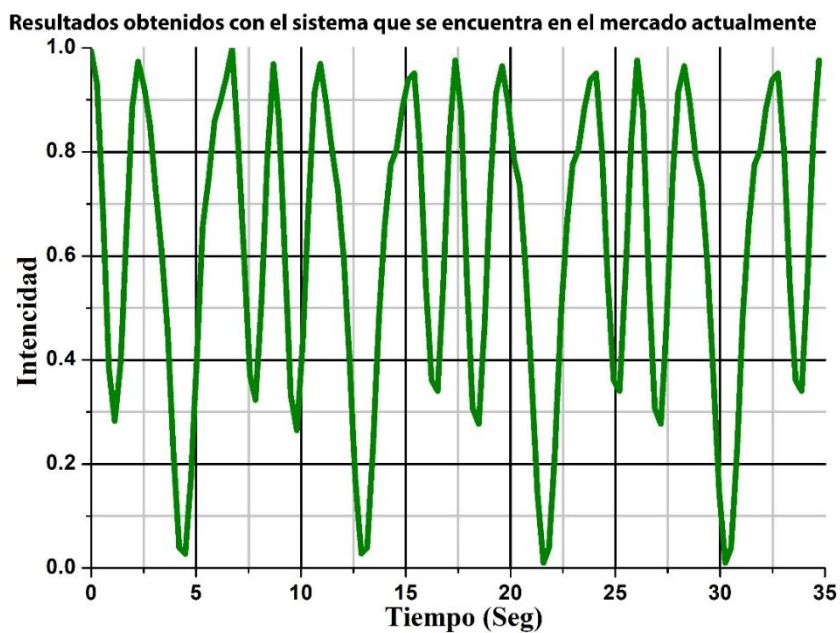


Figura 32: Graficas mostradas por el sistema de referencia

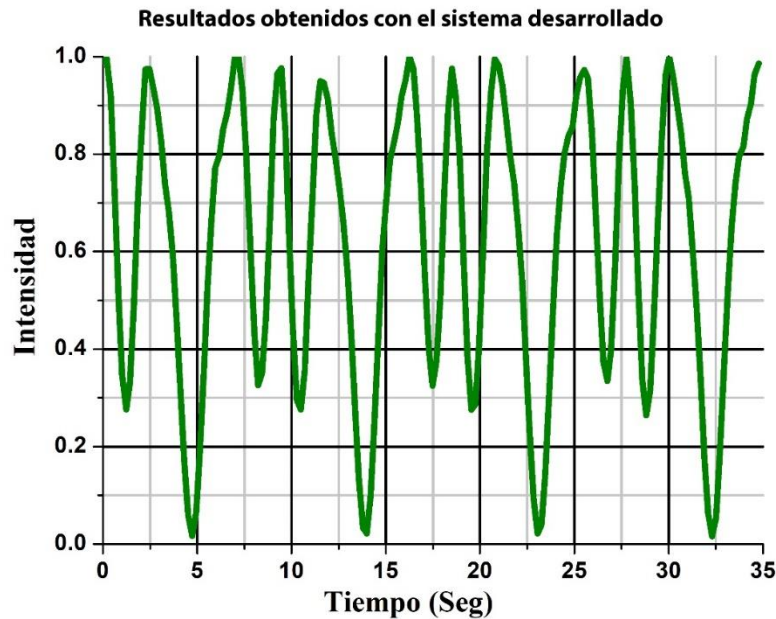


Figura 33: Graficas mostradas por el sistema que proponemos

Para la realización de estos experimentos se realizó lo siguiente: se tomaron en cuenta tres experimentos, uno realizado y tomado en cuenta como ideal hecho por software. Otro tomado en cuenta como nuestro sistema de referencia, el último es el experimento realizado por nosotros con nuestro sistema.

La Figura 31 muestra los resultados obtenidos por la simulación realizada en computadora. La Figura 32 muestra los resultados obtenidos al realizar un experimento con el sistema de referencia que tomamos, mismo sistema que se encuentra en el mercado y comúnmente es el que se consume por los laboratorios de óptica y fotónica y este pertenece a la compañía del país de Estados Unidos “THORLABS”. La Figura 33 corresponde al experimento realizado por el sistema diseñado y desarrollado en este proyecto, el cual estamos proponiendo.

Para conocer si nuestro sistema se acerca al sistema que tomamos de referencia se realizó un cálculo de errores, absoluto y relativo porcentual. El error absoluto es la diferencia entre el valor tomado y el valor medido como exacto mientras que el error relativo porcentual no es más que la división entre el error absoluto y el valor exacto. Si se multiplica por 100 se obtiene el tanto por ciento (%) de error. Los errores fueron calculados tomando los datos que nuestro sistema guarda en hojas de cálculo una vez hechos los experimentos y tomando en cuenta tres puntos de datos de cada experimento. A continuación se muestran los distintos errores obtenidos.

Sistema de referencia		Sistema propuesto	
Error absoluto	Error relativo %	Error absoluto	Error relativo %
0.006432505	0.6432505	0.010576164	1.0576164
0.008641492	0.920663189	0.019278983	1.9278983
0.028286575	3.291379358	0.009374537	1.090805712

CONCLUSIONES

Se desarrolló un sistema el cual nos permite realizar mediciones con sistemas ópticos utilizando software de procesamiento y obteniendo resultados favorables. El cálculo de los errores de las mediciones del detector nos indican que nuestro sistema está dentro del rango aceptable (error<5%) para el uso en los laboratorios.

Además de desarrollar el sistema se detectó las siguientes áreas de oportunidad para mejorar el sistema: primero, para fines de un modulador espacial es más eficiente el uso de un motor DC. Esto se debe a que el motor brushless necesita una alimentación independiente al del radiómetro. Segundo, se obtendría un mejor resultado si se utilizara un diodo pin esto se debe a que el área de detección de la luz es mayor al fotodiodo que utilizamos. Con los resultados obtenidos tanto de manera cualitativa y cuantitativa se pudo comprobar nuestra hipótesis planteada.

ANEXOS

ANEXO 1. CÓDIGO DEL MICROCONTROLADOR

```
#include<Servo.h>           //Libreria de servo
#include <Wire.h>           //Libreria para utilizar i2C
#include <Adafruit_ADS1015.h> //Libreria para utilizar ADC de 16 bits

Servo ESC;                 //Funcion para habilitar el motor

Adafruit_ADS1115 ads;      //Funcion que indica que los datos del ADC seran utilizados
const float multiplier = 0.1875F; //como constantes flotantes.

int vel = 1000;            //Este es un dato que indica las aceleraciones del motor
char puerto = 0;

volatile byte RPMcontador;
unsigned int RPM;
unsigned long tiempoAtras;

void funcionRPM()
{
    RPMcontador++;
}

void setup()
{
    //Esta parte del codigo indica que entre el dato "1000" y el dato "2000"
    //estaran las variaciones de velocidad del motor, siendo "1000" el que lo active
    //en el puerto. Mismo que tiene un retardo de dos segundos.
    ESC.attach(9);
    ESC.writeMicroseconds(2000); //1000 = 1ms
    delay(2000);

    ESC.writeMicroseconds(1000);

    delay(5000); //Una vez iniciado el programa y sincronizado con labVIEW 5 segundos despues
                //comenzara a funcionar el motor.

    Serial.begin(9600); //Se inicializa el puerto serial para la comunicacion con la PC,
    Serial.setTimeout(10); //inician las interrupciones mismas que son utilizadas para medir
    ads.begin(); //las revoluciones a las que gira el motor.
    attachInterrupt(0, funcionRPM, FALLING);
    RPMcontador = 0;
    RPM = 0;
    tiempoAtras = 0;
}

void loop()
{
    //En esta parte del codigo se indica que el ADC sera utilizado en modo
    //diferencial
    attachInterrupt(0, funcionRPM, FALLING);

    int16_t results = ads.readADC_Differential_0_1();

    if (Serial.available() >0)
    {
        puerto = Serial.read();
        attachInterrupt(0, funcionRPM, FALLING); //El motivo por el cual se utilizar casos en esta parte del codigo
        switch (puerto) //es porque para la realizacion de la comunicacion microcontrolador-labVIEW
        { //resulta mas sencillo enviar un dato, en este caso un caracter por el puerto serial,
```



```

case 'c':
    //para asi indicar al software que instruccion ejecutar y procesar.
    Serial.print(results * (-1));
    attachInterrupt(0, funcionRPM, FALLING);
    break;

case 'b':
    //tiempoAtras = millis();
    //RPM = 15 * 1000 / (millis() - tiempoAtras) * RPMcontador;
    Serial.print(RPMcontador);
    attachInterrupt(0, funcionRPM, FALLING);
    //RPMcontador = 0;
    break;

case 'a':
    while (1)
    {
        if (Serial.available() > 0) break;
        attachInterrupt(0, funcionRPM, FALLING);
    }
    vel = Serial.parseInt(); //Leer un entero por serial
    if (vel != 0)
    {
        ESC.writeMicroseconds(vel); //Generar un pulso con el numero recibido
    }
}

detachInterrupt (0);
}

```

REFERENCIAS

- [1] Safa O. Kasap, “Optoelectronics & Photonics: Principles & Practices, 2nd Edition”, Pearson, (2013)
- [2] Shamir, j. (Joseph) “Optical Systems and Process”, SPIE PRESS, (1999)
- [3] Eugene HECHT “Óptica”, Pearson, (2008)
- [4] Daniel Malacara, “Óptica Básica”, Fondo de Cultura Económica, (2015)

[5] AZAEL DE JESÚS MORA NÚÑEZ, “Caracterización Óptica de Tejido Biológico Por Medio de Espectroscopía de Reflexión Difusa y Polarimetría de Mueller”, (2014)