 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-27

Lámpara hiperespectral

Julián David Gómez Granda

Luz Estrella Montoya Zuleta

Daniel Yoban Urrego David

Ingeniería Mecatrónica

Director(es) del trabajo de grado

Alberto Mauricio Arias Correa

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

31/07/2018

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RESUMEN

La lámpara hiperespectral consiste en diseñar 3 paneles multiplexados de iluminación LED con 10 longitudes de ondas diferentes para cada uno de los paneles. En el cual cada longitud de onda será distribuida geométricamente obteniendo así una distribución espectral uniforme para el diseño de cada panel. Además de utilizar una cámara digital monocromática AD-081GE la cual es utilizada para aplicaciones de alto rango dinámico.

Cada uno de estos elementos utilizados en conjunto da paso a la creación de un sistema hiperespectral utilizando iluminación LED y un algoritmo diseñado estructuralmente usando un lenguaje de programación llamado C# con el cual se realizó el software para la manipulación y configuración de la cámara. Logrando de esta forma recopilar la información como un conjunto de imágenes donde cada imagen representa un rango de espectro electromagnético conocido como banda espectral. Esta información dependerá de la variación e intensidad lumínica que se le proporcione a cada uno de los paneles para el análisis de diferentes muestras, así como la ganancia y tiempo de exposición de la cámara.

Palabras claves: Lámpara hiperespectral, imágenes espectrales, iluminación LED, longitudes de onda, Interfaz gráfica, Circuitos electrónicos, Caracterización y Adquisición de imágenes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

RECONOCIMIENTOS

Se desea brindar agradecimientos a las personas que hicieron parte de todo este proceso con nosotros, que nos brindaron su ayuda, conocimientos y sobretodo que nos motivaron a seguir adelante. Sé le agradece a nuestros asesores del producto de laboratorio: Mauricio Arias Herrera, Jorge Arias Herrera, Carlós Andrés Madrigal Gonzales y al Instituto Tecnológico Metropolitano por permitirnos tener acceso al Laboratorio de óptica, fotónica y visión artificial para poder llevar a cabo el desarrollo de la lámpara hiperespectral. Además de nuestros familiares y amigos.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

TXT Archivo de texto

PWM Modulación por ancho de pulso

SNAPSHOT Toma de una sola imagen por medio de la cámara

AUTOEXPOSURE Tiempo de exposición para una imagen

LED Diodo emisor de luz

SMD surface-mountdevice

CCD Dispositivo de carga acoplada (chargecoupledivice)

Cooler Ventilador

Microsoft microcomputador y software (microcomputer and software)

ID Es un identificador

PCA Análisis de componentes principales

MSI Imágenes multiespectrales

 ITM Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLA DE CONTENIDO

Tabla de contenido

1.INTRODUCCIÓN	11
1.1. Problema	11
1.2 . Justificación	11
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos Específicos	12
1.4. Organización de la tesis	12
2.MARCO TEÓRICO	13
2.1. Antecedentes	13
2.2. ¿Qué es una imagen hiperespectral?	17
2.2.1. Cubo hiperespectral	18
2.2.2. Sensores hiperespectrales	18
2.2.3. Funcionamiento de los sistemas hiperespectrales	19
2.3. ¿Qué es un diodo LED?	19
2.3.1. LED de alta potencia	20
2.4. Espectro electromagnético.....	21
2.4.1. Espectro Visible.....	22
2.5. Longitud de onda	22
3.METODOLOGÍA	23
3.1. Diseño electrónico de la lámpara hiperespectral	23
3.1.1. Iluminación LED.....	23
3.1.2. Distribución de los 3 paneles multiplexados de iluminación LED	25
3.2. Cálculos teórico-prácticos.....	25

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.2.1. Señal de control dirigida a la etapa de potencia del circuito.....	25
3.2.2. Etapa de potencia del circuito	26
3.3. Caracterización longitud de onda de la lámpara hiperespectral.....	29
3.4. Planos electrónicos de potencia	39
3.5. Planos electrónicos del sistema de control en PCB	42
3.6. Configuración y manipulación de la interfaz gráfica	43
3.6.1. Aplicación JAI	43
3.6.2. Microsoft Visual Studio	45
3.6.3. Arduino IDE	49
3.7. Plano para la adquisición de imágenes.....	50
3.7.1. Esquemático del sistema de la lámpara hiperespectral	50
3.7.2. Plano circuito electrónico de la lámpara hiperespectral	51
4.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	51
4.1. Resultados	51
4.2. Discusiones.....	56
5.CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO.....	57
5.1. Conclusiones.....	57
5.2. Recomendaciones.....	58
5.2. Trabajo futuro.....	59
REFERENCIAS	59

FIGURAS

Fig.1. Diagrama de los componentes principales para la adquisición de imágenes. (Rangkuti, HarmokoSaputro&Imawan, 2017.IEEE)	14
Fig.2. Esquemático de la estructura para adquisición de imagen hiperespectral.(SuoChing&ZubirMatJafri, 2015.IEEE)	15
Fig.3. Ilustración del sistema de imagen hiperespectral (Li et al., 2015.IEEE) .	15
Fig.4. Sistema desarrollado para imágenes multiespectrales.(Setiadi&Nasution, 2018.IEEE)	16
Fig.5. Interfaz desarrollada en MATLAB como GUI para el sistema (Setiadi&Nasution, 2018.IEEE).....	16
Fig.6. adquisición de imágenes con 12 longitudes de onda. (Setiadi&Nasution, 2018.IEEE)	17
Fig.7. Comparativa de diferentes resoluciones espectrales. De izquierda a derecha: Monoespectral, Multiespectral e Hiperespectral. (Wikipedia.Hiperespectral.2018)	17
Fig.8. Técnicas de adquisición para imágenes hiperespectrales, visualizadas como secciones del cubo de datos hiperespectrales con dos dimensiones espaciales (x, y) y una dimensión espectral (λ). (Coffey. V.2015.Hyperspectral. OSA. Optics&Photonics News).	18
Fig.9. Esquema del diodo LED. (Carretero Montero, A. 2011. Electrónica .pág.121)	20
Fig.10. Diodos emisores de luz de alta potencia conectados a una base en estrella para LedLuxeon y Lumuleds. (Wikipedia.led.2018).	20
Fig.11. Distribución simétrica de los 3 paneles multiplexados de iluminación LED	25
Fig.12. Esquema del circuito individual para cada espectro de color. Eagle	27
Fig.13. Circuito para el análisis de la malla. Eagle	27
Fig.14. Gráfico del comportamiento de los LEDS Ultravioleta (Frecuencia Vs Corriente)	30
Fig.15 Gráfico del comportamiento de los LEDS Violeta (Frecuencia Vs Corriente).	31
Fig.16. Gráfico del comportamiento de los LEDS Azules (Frecuencia Vs Corriente)	32

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fig.17. Gráfico del comportamiento de los LEDES Cian (Frecuencia Vs Corriente) 33

Fig.18. Gráfico del comportamiento de los LEDES Verde (Frecuencia Vs Corriente) 34

Fig.19. Gráfico del comportamiento de los LEDES Chartreuse (Frecuencia Vs Corriente). 35

Fig.20. Gráfico del comportamiento de los LEDES Amarillo (Frecuencia Vs Corriente). 36

Fig.21. Gráfico del comportamiento de los LEDES Rojo (Frecuencia Vs Corriente) 37

Fig.22. Gráfico del comportamiento de los LEDES Rojo profundo (Frecuencia Vs Corriente). 38

Fig.23. Gráfico del comportamiento de los LEDES Infrarrojo (Frecuencia Vs Corriente) 39

Fig.24. Plano electrónico del sistema de control de la lámpara hiperespectral para longitudes de onda de 403nm, 430nm, 460nm, 495nm, 516nm y 551nm.Eagle 40

Fig.25. Esquema electrónico con cada componente especificado que se utilizara para el diseño de la lámpara hiperespectral 403nm, 430nm, 460nm, 495nm, 516nm y 551nm.Eagle. 40

Fig.26. Plano electrónico del sistema de control de la lámpara hiperespectral para longitudes de onda de 595nm, 618nm, 637nm y 728nm.Eagle. 41

Fig.27. Esquema electrónico con cada componente especificado que se utilizara para el diseño de la lámpara hiperespectral 595nm, 618nm, 637nm y 728nm.Eagle 41

Fig.28. Esquema electrónico para la alimentación de toda la lámpara hiperespectral 42

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Fig.29. <i>Diseño de la tarjeta electrónica para alimentar la lámpara hiperespectral en Eagle</i>	42
Fig.30. <i>Diseño electrónico del circuito de control para la lámpara hiperespectral en Eagle.</i>	43
Fig.31. <i>Cámara JAI AD-081GE. ("Homepage JAI", 2018)</i>	44
Fig.32. <i>Aplicación JAI</i>	45
Fig.33. <i>Imagen captada por la cámara usando la aplicación JAI</i>	45
Fig.34. <i>Ejemplos proporcionados luego de la instalación de la aplicación JAI.</i>	46
Fig.35. <i>Modo manual de la interfaz gráfica</i>	47
Fig.36. <i>Modo Automático de la interfaz gráfica.</i>	47
Fig.37. <i>Imagen adquirida usando la interfaz gráfica con diferentes valores de ganancia y tiempo de exposición.</i>	49
Fig.38. <i>Esquemático de la lámpara hiperespectral para la adquisición de imágenes</i>	50
Fig.39. <i>Plano electrónico de toda la lámpara hiperespectral</i>	51
Fig.40. <i>Montaje físico de la lámpara hiperespectral</i>	52
Fig.41. <i>Combinación de dos longitudes de ondas diferentes para lámpara hiperespectral</i>	52
Fig.42. <i>Encendido de una red de LEDs con una sola longitud de onda</i>	52
Fig.43. <i>Adquisición de imágenes para ganancia de 100 a 550 y el tiempo exposición máximo.</i>	53
Fig.44. <i>Adquisición de imágenes con ganancia máxima y el tiempo de exposición 80 a 972</i>	53
Fig.45. <i>Adquisición de imágenes con valores de ganancia y el tiempo de exposición 60 a 600</i>	54
Fig.46. <i>Adquisición de imágenes por medio de interfaz gráfica</i>	54

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

TABLAS

Tabla.1. Simbología de un diodo LED. Martín Castillo, J.2017.Electronica (pag.83).....	20
Tabla.2. El espectro electromagnético (ChemWiki de UC Davis .Universidad de California en Davis).....	21
Tabla.3. Espectro visible por el hombre. Fuente: www.gafasyvision.com	22
Tabla.4. Longitudes de onda. (Alciro.2018)	22
Tabla.5. Especificaciones de los LEDS de potencia a 3W.ipixel LED	24
Tabla.6. Longitudes de onda de la lámpara hiperespectral	24
Tabla.7. Caracterización del color Ultra violeta longitud de onda 405nm	29
Tabla.8. Caracterización del color Violeta longitud de onda 440nm	30
Tabla.9. Caracterización del color Azul longitud de onda 460nm.....	31
Tabla.10. Caracterización del color Cian longitud de onda 495nm	32
Tabla.11. Caracterización del color Verde longitud de onda 516 nm	33
Tabla.12. Caracterización del color Chartreuse longitud de onda 551nm.....	34
Tabla.13. Caracterización del color Amarillo longitud de onda 590nm.....	35
Tabla.14. Caracterización del color Rojo longitud de onda 618nm	36
Tabla.15. Caracterización del color Rojo Profundo longitud de onda 637nm .	37
Tabla.16. Caracterización del color Infrarrojo longitud de onda 728nm.....	38
Tabla.17. Datos técnicos Arduino mega.	50

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

1. INTRODUCCIÓN

El presente proyecto se refiere a la elaboración de una lámpara hiperespectral cuyo propósito es tomar múltiples imágenes con longitudes de ondas distintas y analizarlas. En donde se hace de suma importancia tener en cuenta el rango que tiene cada longitud de onda y la intensidad lumínica que puede llegar a alcanzar. Dicho esto se realiza una caracterización correspondiente de la frecuencia del PWM en porcentaje (%) con respecto a la corriente en miliamperios de cada longitud de onda. Además de conocer las características y propiedades que posee la cámara monocromática AD-081GE que se va a utilizar.

Logrando así el diseño y la elaboración de una interfaz gráfica que sea amigable y de fácil acceso para el usuario. Dándole la posibilidad de poder modificar, acceder a datos, visualizarlos, guárdalos y cargarlos para poder realizar un control secuencial mediante la comunicación entre Arduino y C# que permita al usuario poder visualizar el funcionamiento, el tiempo de exposición y ganancia para el muestreo de cada imagen.

1.1. Problema

A lo largo de la historia la notoria evolución de la tecnología ha tomado gran fuerza con el mejoramiento, procesamiento y análisis de imágenes hiperespectrales. Para lo cual se hace necesario para el laboratorio de óptica, fotónica y visión artificial del ITM crear una lámpara hiperespectral que sea capaz de tomar distintas muestras de imágenes hiperespectrales en tiempo real.

1.2. Justificación

Las imágenes hiperespectrales son capaces de recopilar información a lo largo de todo el espectro electromagnético y almacenar datos de la imagen imperceptibles al ojo humano. Para esto se utilizarán 3 paneles multiplexados de iluminación LED

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

que serán controlados a través de una interfaz gráfica de fácil interacción en donde se podrá observar el tiempo de exposición, ganancia y analizar cada longitud de onda. Además de extraer la información más relevante contenida en cada imagen.

1.3. Objetivos:

1.3.1. Objetivo general:

Desarrollar el Hardware y Software necesarios para el funcionamiento de la lámpara hiperespectral.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Implementar un circuito electrónico que permita variar la corriente para cada una de las longitudes de onda.
- Calcular los valores específicos de los componentes electrónicos para el diseño de la lámpara hiperespectral.
- Explicar adecuadamente la interfaz gráfica para realizar la adquisición de imágenes y realizar un buen uso de la lámpara hiperespectral.

1.4. Organización de la tesis

En el marco teórico se desarrollan varios artículos científicos que nos permiten identificar las longitudes de onda de los LEDs, las lámparas, el software, la interfaz gráfica desarrollada y demás herramientas utilizadas para resolver un problema haciendo uso de diferentes métodos para la adquisición de imágenes.

En la metodología se muestra el procedimiento que se realizó para el desarrollo de la lámpara hiperespectral, en el que se presentan los cálculos y la caracterización de los LEDs, la distribución de los paneles de luz, el diseño de las PCBs y las herramientas necesarias para la manipulación y configuración de la interfaz gráfica de la lámpara hiperespectral.

En los resultados y la discusión se presentan los resultados obtenidos en el desarrollo de la lámpara hiperespectral en el que se resaltan las fortalezas,

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

limitaciones o restricciones del hardware y software del producto desarrollado, es decir, los circuitos eléctricos de las PCBs y la interfaz gráfica.

En las conclusiones y las recomendaciones a futuro se realizan las conclusiones, recomendaciones para la lámpara hiperespectral y el trabajo futuro que se puede llegar a realizar aplicando mejoras o modificaciones.

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

- Rangkuti, Harmoko Saputro e Imawan proponen un sistema de imagen hiperespectral para determinar la calidad de las frutas basado en el contenido de los sólidos solubles en estas por medio de la combinación de un análisis espectral y espacial. El sistema propuesto consiste en una cámara hiperespectral con un rango de 400nm a 1000nm, dos lámparas de 150 vatios y una computadora en donde se encuentra el software para controlar la velocidad y el tiempo de exposición durante la adquisición de datos. A partir de las imágenes adquiridas se extraen sus características y pasan por un proceso de selección con el fin de reducir la cantidad de datos. También implementaron un modelo de predicción para determinar el valor de los sólidos solubles (SSC) de la fruta. (Rangkuti, Harmoko Saputro & Imawan, 2017). En la **Fig.1.** se muestra la estructura y componentes principales implementados.

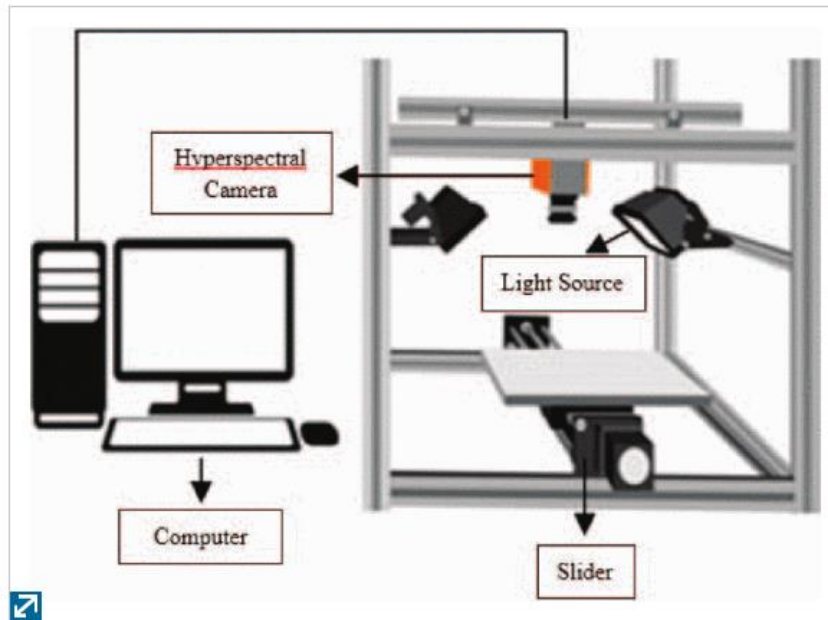


Fig.1. Diagrama de los componentes principales para la adquisición de imágenes. (Rangkuti, HarmokoSaputro&Imawan, 2017. IEEE).

- SuoChing & ZubirMatJafri para la detección de defectos de la guayaba utilizaron imágenes hiperespectrales en una región de 400nm a 1000nm. Para la adquisición de imágenes utilizaron la luz fluorescente como fuente de luz para realizar una adquisición de imágenes en una región espectral de 431nm a 642nm y evaluaron las imágenes usando un análisis de componentes principales (PCA) para obtener la mejor longitud de onda para el sistema. (SuoChing & ZubirMatJafri, 2015)

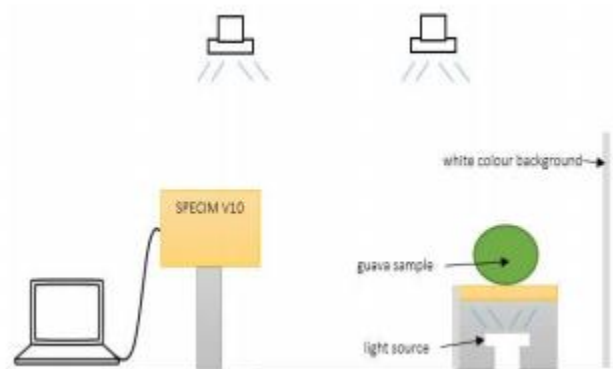


Fig.2. Esquemático de la estructura para adquisición de imagen hiperespectral. (SuoChing&ZubirMatJafri, 2015. IEEE).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Li et al presenta un método de imagen multi-espectral, utilizando como fuente de luz cinco tipos de luz LED, adaptando una cámara a color para muestrear la imágenes. El principio básico se muestra en la **Fig.3.** que consiste en que un objeto se ilumina bajo diferentes tipos de luz LED, y la imagen se obtiene usando un color RGB para recoger la luz reflejada por el objeto. El proceso se lleva a cabo automáticamente por un controlador implementado en el software del computador. (Li et al., 2015)

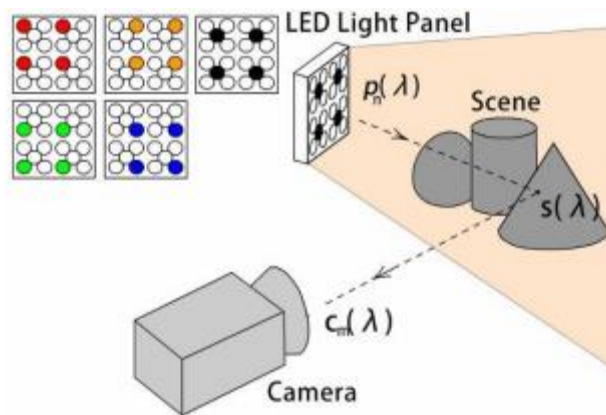


Fig.3. Ilustración del sistema de imagen hiperespectral (Li et al., 2015.IEEE).

- Setiadi & Nasution desarrollaron un sistema de imágenes multispectrales(MSI) que opera a 12 longitudes de onda entre 350nm y 970nm,muy preciso y de bajo costo con aplicaciones en dermatología. El sistema consta de dos partes: 1) la fuente de luz, construida utilizando LEDs con 12 longitudes de onda diferentes en una estructura en forma de domo, y 2) una cámara CCD monocromática de 8 bits. Para la adquisición y procesamiento de imágenes multispectrales se desarrolló un software basado en GUI MATLAB. (Setiadi & Nasution, 2018).

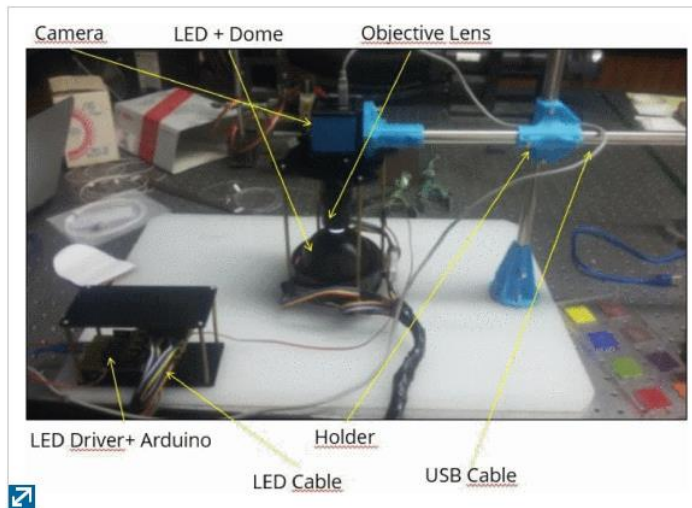


Fig.4. Sistema desarrollado para imágenes multispectrales.(Setiadi&Nasution, 2018.IEEE).



Fig.5. Interfaz desarrollada en MATLAB como GUI para el sistema (Setiadi&Nasution, 2018.IEEE).

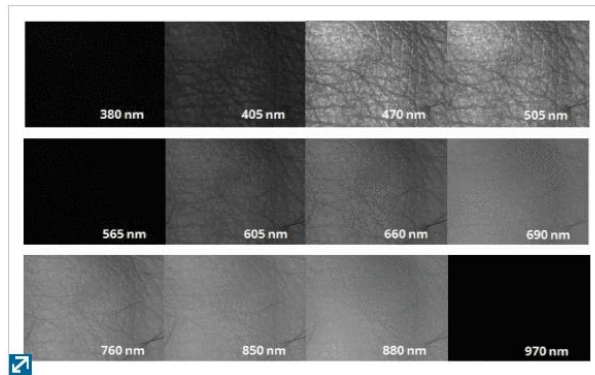


Fig.6. adquisición de imágenes con 12 longitudes de onda. (Setiadi&Nasution, 2018.IEEE).

2.2. ¿Qué es una imagen hiperespectral?

Una imagen hiperespectral se basa principalmente en clasificar una serie de información y procesarla por medio de un espectro electromagnético. Logrando así adquirir una gran adquisición de imágenes que serán divididas en bandas espectrales.

Además a lo largo del tiempo y a medida que la tecnología avanza se ha logrado construir y crear múltiples sistemas y sensores para la aplicación de imágenes hiperespectrales. (Wikipedia.Hiperespectral.2018).

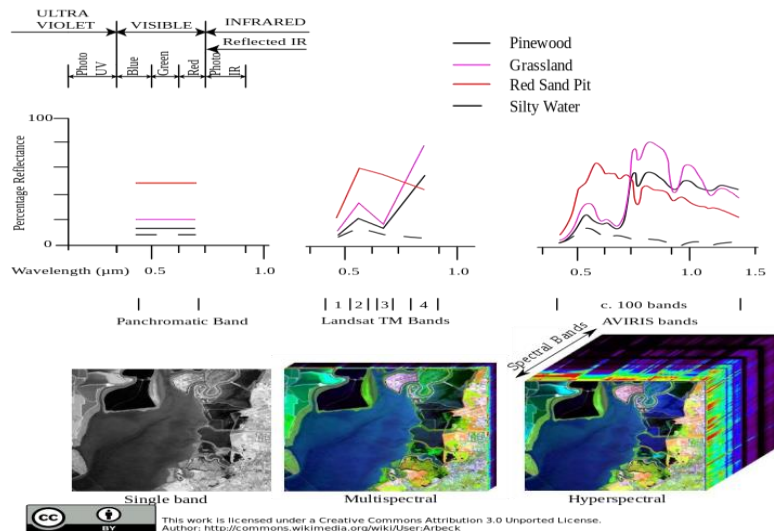


Fig.7.Comparativa de diferentes resoluciones espectrales. De izquierda a derecha: Monoespectral, Multiespectral e Hiperespectral. (Wikipedia.Hiperespectral.2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

2.2.1. Cubo hiperespectral

Un cubo hiperespectral consiste en obtener un conjunto de imágenes tridimensionales recompiladas. Permitiendo de este modo que cada imagen represente un rango del espectro electromagnético. Además de tener en cuenta que la dimensión espacial y corte del cubo corresponderán a una imagen de banda cubierta por el sensor. (Wikipedia.Hiperespectral.2018).

En donde X y Y ocupan un componente posicional mientras que λ está ocupado por el componente espectral como se muestra en la **Fig.8**.

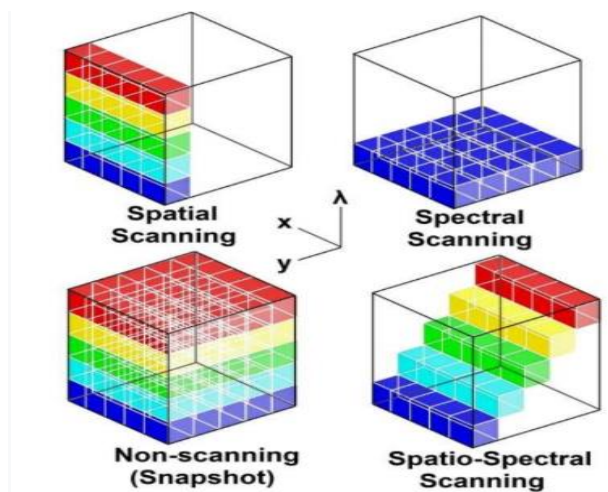


Fig.8. Técnicas de adquisición para imágenes hiperespectrales, visualizadas como secciones del cubo de datos hiperespectrales con dos dimensiones espaciales (x, y) y una dimensión espectral (λ). (Coffey. V.2015.Hyperspectral. OSA. Optics&Photonics News).

La utilización del cubo hiperespectral servirá como una herramienta útil para analizar en primera instancia una serie de adquisición de datos necesarios para generar datos hiperespectrales.

2.2.2. Sensores hiperespectrales

El alcance del ojo del ser humano puede llegar a ser capaz de ser igual que un sensor óptico logrando detectar longitudes de ondas visibles del espectro electromagnético. Es decir que si un sensor es capaz de detectar tanto magnitudes físicas como químicas y transformarlas en una variable eléctrica. EL sensor de imagen puede ser capaz de registrar las cantidades

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

de luz a las que se le expone al sensor y convertirlas en un número de imágenes. Tratando así de generar bandas hiperespectrales y recrearlas de acuerdo a la percepción del ojo humano.

De esta forma se puede decir que algunos sensores en la actualidad son capaces de generar o producir diferentes bandas del espectro electromagnético en donde cada pixel de la imagen producirá un espectro muy fino. Logrando la identificación de algunas propiedades espectrales que se encuentren en una longitud de onda determinada. (Rejas Ayuga & Murillo Mozota, 2017)

2.2.3. Funcionamiento de los sistemas hiperespectrales

Para el funcionamiento de los sistemas hiperespectrales esta cuenta con varios sistemas de adquisición de imagen CCD y un sistema de filtros capaz de separar cada longitud de onda que pueda incurrir en el CCD.

Un CCD es un circuito de carga acoplada el cual contiene un circuito integrado. En donde su principal función es controlar la frecuencia de radiación que pueda transmitir. Estos pueden ser utilizados en aplicaciones de adquisición y análisis de imágenes que se realizan línea a línea. (Yule Burbano, 2013).

2.3. ¿Qué es un diodo LED?

El diodo LED es un componente capaz de emitir luz cuando es atravesado por una corriente en polarización directa. Los LEDs tienen dos pastillas de conexión (un ánodo y un cátodo). El terminal largo es el ánodo (+) y el corto el cátodo (-). También es posible diferenciarlos observando el LED al trasluz. El cátodo es una pieza de mayor tamaño que el ánodo. Además, en los LEDs con el cuerpo redondeado es el lado del cátodo es plano. *Martín Castillo, J.2017.Electronica (pag.83).*

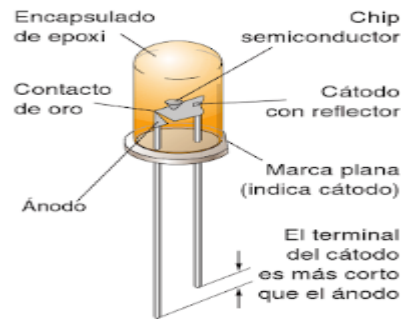


Fig.9. Esquema del diodo LED. (Carretero Montero, A. 2011. *Electrónica* .pág.121).



Denominación	Símbolo IEC	Símbolo ANSI	Identificador
Diodo LED			D

Tabla.1. Simbología de un diodo LED. Martín Castillo, J.2017. *Electronica* (pag.83).

2.3.1 LEDs de alta potencia

Cundo se va a utilizar un LED de potencia muchas veces existen algunas limitaciones como la temperatura. Ya que en algunos casos cuando el LED se instala y este no es capaz de disipar el calor que produce puede afectar notablemente tanto la eficiencia como a la cantidad de luz lumínica.

Algunas aplicaciones de iluminación suelen requerir de una potencia luminosa .Para el cual se ha diseñado en algunas industrias un sistema de encapsulado para el LED el que se permitirá integrar en cada LED una intensidad lumínica muy alta, y por tanto eléctrica. Para estos encapsulados se necesita incluir o incursionar un sistema que sea capaz de disipar el calor que se produce. (Calderón., A., & Fraile, J.2012).



Fig.10. Diodos emisores de luz de alta potencia conectados a una base en estrella para LedLuxeon y Lumuleds. (Wikipedia.led.2018).

2.4. Espectro electromagnético

Un espectro electromagnético es la distribución de varias ondas electromagnéticas. Las cuales suelen emitir un espectro de emisión como absorción. Suele ser utilizada para identificar algunas sustancias de forma análoga/ digital. Dicha radiación sirve para identificar la sustancia de manera análoga a digital. Permitiendo así realizar medidas sobre el mismo, como son la longitud de onda, la frecuencia y la intensidad de la radiación.

Podemos clasificar y ordenar las ondas electromagnéticas de acuerdo a sus diferentes longitudes de onda y frecuencias; llamamos a esta clasificación el espectro electromagnético. (Wikipedia."Espectro electromagnético", 2018)

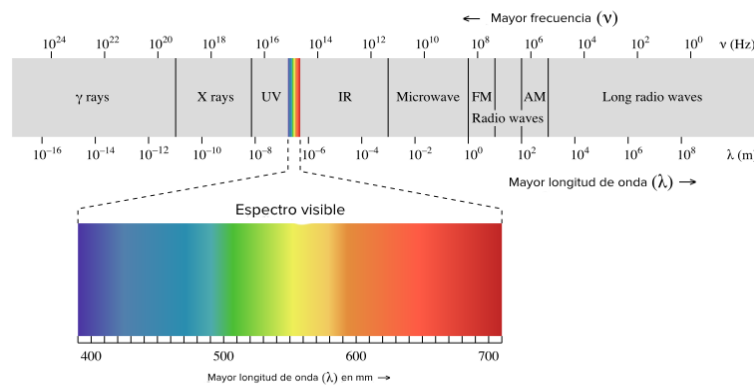


Tabla.2.El espectro electromagnético (ChemWiki de UC Davis .Universidad de California en Davis).

Los intervalos de longitudes de onda más utilizados en la formación de imágenes hiperespectrales son las correspondientes a la región óptica del espectro formada por la radiación visible, la ultravioleta y la infrarroja.

La radiación ultravioleta es la porción del espectro comprendida entre los 400nm y los 15nm. Esta región tiene uno de los rangos de frecuencia más práctico en la formación de imágenes hiperespectrales, ya que se puede obtener información de lo observado más allá de lo que se puede percibir a simple vista. La siguiente parte del espectro de interés es la parte del infrarrojo región que abarca el rango de longitud de onda de aproximadamente 0.7μm a 100μm.

2.4.1. Espectro visible

El espectro visible es el espectro electromagnético que el ojo del ser humano es capaz de percibir.

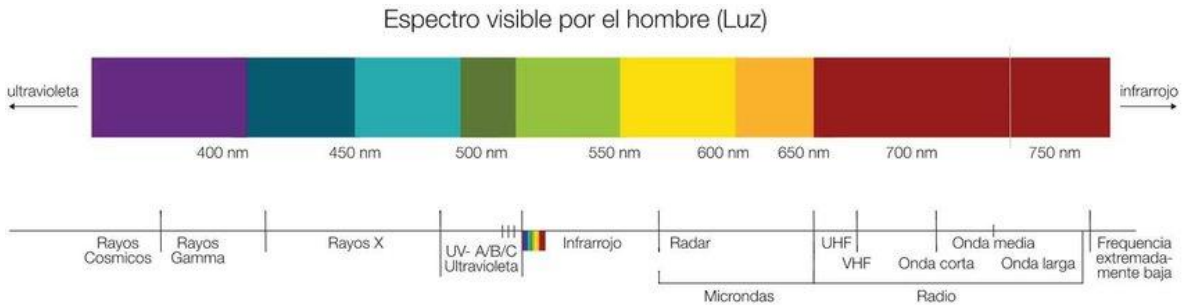


Tabla.3. Espectro visible por el hombre. Fuente: www.gafasyvision.com.

2.5. Longitudes de onda

Cuando una persona va a percibir el color eso siempre dependerá de cada longitud de onda. Por ejemplo: Cuando la luz incide sobre un objeto, este se refleja con una mayor intensidad. Estas al ser percibidas por el ojo determinan el color característico de dicho cuerpo, por supuesto la percepción de cada color varía de una persona a otra.

Rojo	700 - 630 nm
Naranja	630 - 600 nm
Amarillo	600 - 570 nm
Verde	570 - 520 nm
Cian	520 - 480 nm
Azul	480 - 430 nm
Violeta	430 - 400 nm

Tabla.4. Longitudes de onda. (Alciro.2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3. METODOLOGÍA

Para la elaboración de la lámpara hiperespectral se desarrolló un sistema de hardware/software el cual será de utilidad en procesos de investigación para la línea de investigación en visión artificial y fotónica. Para que el proyecto se pueda llevar a cabo será necesario planos electrónicos de potencia, planos electrónicos del sistema de control, tarjetas electrónicas, interfaz de configuración y manipulación de la lámpara hiperespectral.

3.1. Diseño electrónico de la lámpara hiperespectral

3.1.1. Iluminación LED

De acuerdo a la disponibilidad comercial y a los recursos obtenidos en el laboratorio de Óptica, Fotónica y Visión artificial se decidió trabajar con LEDs de 3W ya que la cámara AD-081GE tiene un sensor CCD.

Los LEDs de potencia suelen ser elementos de estado sólido (semiconductores) que emiten energía luminosa al aplicar directamente energía eléctrica, los cuales, dependiendo de la aplicación pueden ser de baja o alta potencia. En este caso este LED posee un encapsulado transparente y una base para disipar el calor. Además la corriente máxima a la que llega es a 700mA.

Nota: Una de las cosas a recordar y tener en cuenta es en caso de que el LED no tenga disipador es obligatorio ponerle un disipador de calor adecuado con el fin de mantenerlo dentro de la temperatura de operación específica, de lo contrario una temperatura excesiva causara una degradación o daño permanente. A continuación en la **Tabla.5**. Se mostrara cuáles son las principales características eléctricas de los LEDs de potencia a 3W.

Wattage	Color	Wavelength (nm)	Forward Voltage(V)	Forward Current(V)	Lumious Flux(lm)	Chip Brand /Size	Lens Angle
3W	Cold White	30000-35000k	3.2-3.4V	700mA	260-280LM	Epistar 45mil	120deg
	Super cool White	20000-25000k	3.2-3.4V	700mA	260-280LM	Epistar 45mil	120deg
	Cool White	10000-15000k	3.2-3.4V	700mA	260-280LM	Epistar 45mil	120deg
	White	6000-6500k	3.2-3.4V	700mA	260-280LM	Epistar 45mil	120deg
	Natural White	4000-4500k	3.2-3.4V	700mA	260-280LM	Epistar 45mil	120deg
	Warm White	3000-3500k	3.2-3.4V	700mA	260-280LM	Epistar 45mil	120deg
	Violet 5 Kinds	1.395-400nm 2.400-405nm 3.405-410nm 4.410-415nm 5.425-430nm	3.5-4.0V	700mA	30-40LM	Epistar 45mil	120deg
	Royal Blue	440-450nm	3.2-3.4V	700mA	50-60LM	Epistar 45mil	120deg
	Bright Blue	460-470nm	3.2-3.4V	700mA	50-60LM	Epistar 45mil	120deg
	Cyan	490-495nm	3.2-3.4V	700mA	100-120LM	Epistar 45mil	120deg
	Turquoise	500-510nm	3.2-3.4V	700mA	100-120LM	Epistar 45mil	120deg
	Emerald green	520-530nm	3.2-3.4V	700mA	140-160LM	Epistar 45mil	120deg
	Yellow	585-595nm	2.0-2.2V	700mA	90-100LM	Epistar 45mil	120deg
	Orange Amber	595-610nm	2.0-2.2V	700mA	60-80LM	Epistar 45mil	120deg
	Bright Red	620-630nm	2.0-2.2V	700mA	60-80LM	Epistar 45mil	120deg
	Deep Red	640-660nm	2.0-2.2V	700mA	50-60LM	Epistar 45mil	120deg
	Full Spectrum	380-840nm	3.2-3.4V	700mA	90-100LM	Epistar 45mil	120deg
RGB	Red:620-630nm Green:520-530nm Blue:460-470nm	Red:2.0-2.2v Green:3.2-3.4v Blue:3.2-3.4v	Red:700mA Green:700mA Blue:700mA	Red:60-80LM Green:140-160LM Blue:50-60LM	Epistar 45mil	120deg	

Tabla.5. Especificaciones de los LEDS de potencia a 3W.ipixel LED.

Una vez conociendo y teniendo en cuenta las especificaciones de la **Tabla.5.** Se procede a realizar una tabla más concreta con cada uno de los LEDs que se utilizaran para la lámpara hiperespectral con una respectiva caracterización más profunda.

Color	Longitud de Onda	Corriente(mA)	Voltaje (V)
Ultra Violeta	405nm	700	3.2-4.5
Violeta	430 nm	350-700	3.5-4.0
Azul	460 nm	350-700	3.0-3.4
Cian	495nm	350-600	3.2-3.4
Verde	516nm	700	3.4V
Chartreuse	551nm	700	3.0-3.2
Amarillo	595nm	700	2.0-2.2
Rojo	618nm	600-700	2.2-2.6
Rojo profundo	637nm	600-700	2.4-2.6
Infrarrojo	728nm	350-700	1.5-1.7

Tabla.6. Longitudes de onda de la lámpara hiperespectral.

3.1.2. Distribución de los 3 paneles multiplexados de iluminación LED

En la distribución de las 10 longitudes de ondas de cada panel se optó por aplicar la distribución existente proporcionada por el laboratorio de fotonica, óptica y visión artificial, la idea es que en cada una de las tres lámparas quede una distribución de tres LEDs iguales por longitud de onda las cuales están distribuidas rectangularmente para una mayor uniformidad de la iluminación como lo muestra a **Fig.11**.

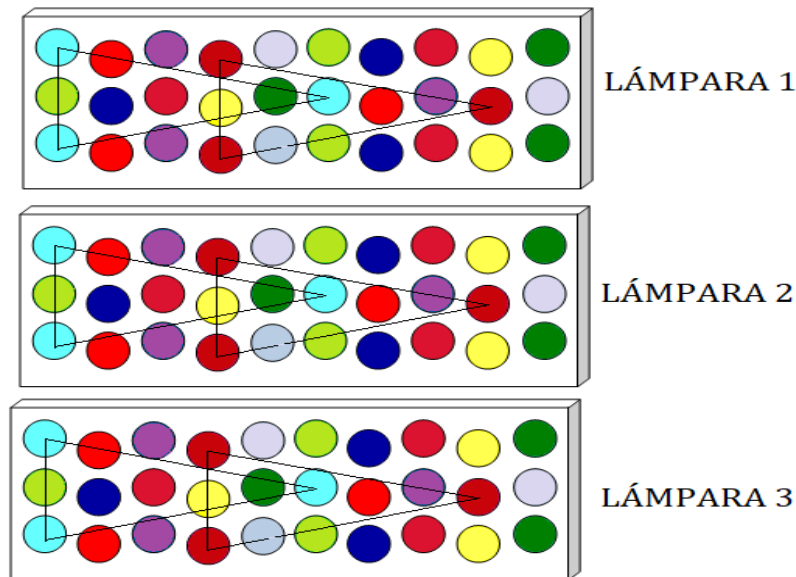


Fig.11. Distribución simétrica de los 3 paneles multiplexados de iluminación LED.

3.2. Cálculos teórico- prácticos

Este apartado es designado tanto para los cálculos teóricos según los datos registrados para los dispositivos por el fabricante, como también para cálculos realizados con datos prácticos obtenidos con elementos de medida en el laboratorio.

3.2.1. Señal de control dirigida a la etapa de potencia del circuito

La señal de control enviada hacia la etapa de potencia del circuito es obtenida por medio de una tarjeta de la plataforma Arduino, cuya señal debe ser protegida contra voltajes y corrientes excesivas que se puedan generar en el circuito. Para lograr lo anterior se utiliza el optoacoplador de referencia pc817 que cumple la función de aislar los elementos de potencia y el dispositivo de control, así evitando daños en el mismo.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

La señal de control modulada por ancho de pulso (PWM) generada por el Arduino es de 5v DC, esta señal no se puede conectar directamente al diodo emisor de luz del optoacoplador por lo que se opta por conectar una resistencia de 220Ω entre los dos terminales y garantizar que al diodo le ingresen valores de corriente que se encuentren dentro de su rango de operación establecido en la hoja de datos, para el pc817 la corriente máxima admisible en el ánodo del diodo es de 50 mA.

3.2.2. Etapa de potencia del circuito

Si bien, en el apartado anterior se mencionó que la señal de control es recibida por el optoacoplador, en este segmento del informe se mencionara como a partir de esa señal se genera la corriente necesaria para el arreglo de LEDs con la utilización del transistor Darlington TIP 122 NPN, cuyas características son suficientes y no sobredimensionadas para el objetivo del diseño.

Se sabe que en un transistor existe una relación entre la corriente de base I_b , la corriente de colector I_c y la ganancia h_{fe} se puede expresar de la siguiente manera.

$$I_c = I_b * \beta \quad (1)$$

$$I_b = I_c / \beta \quad (2)$$

Donde la corriente del colector será el resultado de multiplicar la corriente que ingresa a la base del transistor por su ganancia, teniendo en cuenta que los arreglos de LEDs para cada uno de los espectros utilizados en el producto de laboratorio consta de tres líneas de LEDs en paralelo, donde cada línea contiene tres LEDs en serie y que los nodos en común que tienen los paralelos siempre son la fuente de +12V DC y el colector del TIP 122 como se puede observar en la **Fig.12.** ; podemos afirmar que teóricamente por el colector del transistor pueden circular máximo 2.1 A, considerando que cada LED según su hoja de datos soporta un máximo de corriente de 700 mA.

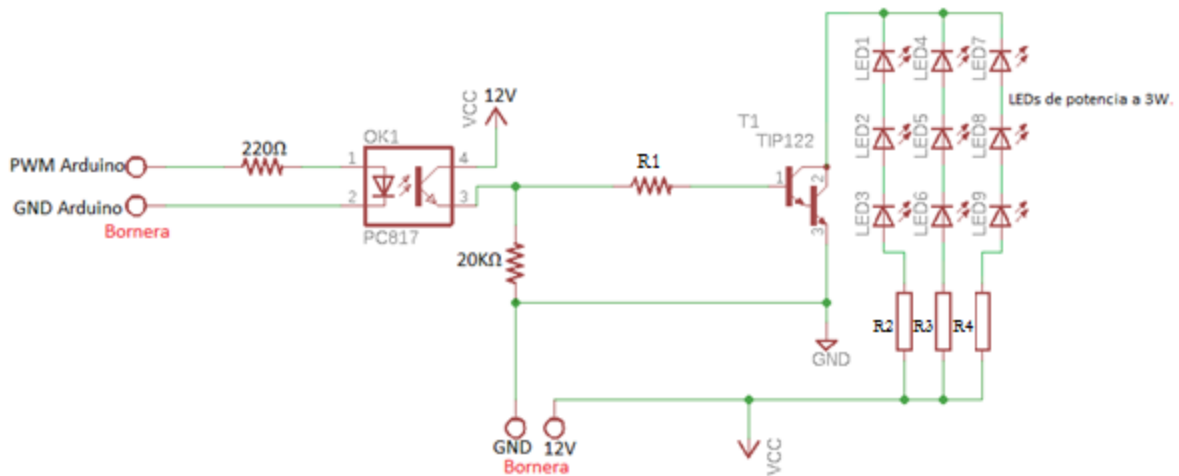


Fig.12. Esquema del circuito individual para cada espectro de color. Eagle.

Reemplazando en la ecuación (2), el valor máximo de corriente que puede circular por el colector y el valor de la ganancia obtenido de la hoja de datos que es igual a 1000, como se muestra en la ecuación (3). Se consigue que I_b es igual a $2.1 * 10^{-3}$ mA.

$$I_b = 2.1 A / 1000 \quad (3)$$

Con la información del circuito y la hoja de datos del transistor se procede a realizar análisis de malla para el TIP 122, como se puede observar en la Fig.13., de ese modo se conoce el valor de la resistencia indicada para garantizar el valor de la corriente de base.

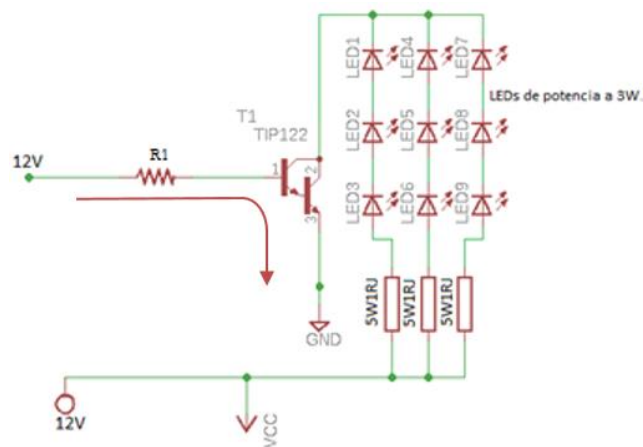


Fig.13. Circuito para el análisis de la malla. Eagle.

Se obtienen las siguientes ecuaciones.

$$0 = 12 V - V_{be} - (R1 * I_b) \quad (4)$$

$$0 = 12V - 2.5V - (R1 * 2.1 * 10^{-3}) \quad (5)$$

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

$$R1 = 9.5V / 2.1 * 10^{-3} mA \quad (6)$$

Donde finalmente se halla que R1 es igual a 4.52 KΩ, por efectos de diseño se decide utilizar una resistencia de 2.7 KΩ esto para garantizar que el transistor no esté polarizado a la corriente exacta que pueden utilizar los LEDs y tenga un límite de corriente mayor en su funcionamiento.

En esta etapa se procede a calcular el valor de las resistencias de carga que suplirá el voltaje que hace falta para completar los doce voltios proporcionados por la fuente de poder y restringirá la corriente necesaria para el correcto funcionamiento de los LEDs; para esto se tiene en cuenta el consumo de potencia del circuito y de esta manera evitar que los componentes fallen por estar sometidos a sobrecarga.

Los LEDs que se implementan en el diseño fluctúan su voltaje de operación según el espectro de color véase **tablas 5 y 6**. De este modo se calcula el valor de la resistencia para ellos según su rango de operación, se encontró que están divididos entre un voltaje aproximado de 3.2V DC y un voltaje de 2.2V DC, esto se puede verificar en el desarrollo del ítem planos electrónicos de potencia.

La ecuación **(7)** se resume como; el valor de la resistencia es igual a la diferencia entre el voltaje de entrada menos el voltaje que consumen los tres LEDs en serie, dividido la corriente máxima de operación.

$$Rcarga = \frac{Vin - Vleds}{Iled} (7)$$

Reemplazando en la ecuación 7 para un voltaje de 3.2V por LED.

$$Rcarga = \frac{12V - 9.6V}{700mA} (8)$$

Reemplazando en la ecuación 7 para un voltaje de 2.2V por LED.

$$Rcarga = \frac{12V - 6.6V}{700mA} (9)$$

Se obtiene de la ecuación **(8)** una resistencia de carga de 3.42Ω y de **(9)** una resistencia de 7.7Ω. Estos valores fueron reemplazados por resistencias de 1Ω y de 4.7Ω respectivamente por que el voltaje real sobre la resistencia es aproximadamente 10.5V y en la práctica se restringió la corriente máxima para los LEDs a un valor aproximado de 660mA.

3.3. Caracterización longitud de onda lámpara hiperspectral

Con el motivo de realizar una correcta implementación del control de la corriente en el circuito, cada uno de los arreglos de LEDs fue sometido a pruebas de encendido y apagado con la modulación de ancho de pulso (PWM), esto a modo de prueba de funcionamiento para obtener la caracterización de cada espectro según corriente y voltaje. En las siguientes tablas y figuras se puede observar lo dicho en este párrafo, las medidas aumentan cada 5 por ciento, comenzado en 5 y terminando en 100 por ciento.

Color LED	Ultra Violeta	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	405nm	5%	30	1,8
Potencia	3W	10%	50	1,98
Resistencia Potencia	5W1RJ	15%	71	2,1
		20%	93	2,27
		25%	123	2,37
		30%	148	2,4
		35%	174	2,49
		40%	208	2,62
		45%	230	2,7
		50%	260	2,76
		55%	291	2,86
		60%	319	2,94
		65%	346	3
		70%	375	3,1
		75%	404	3,2
		80%	437	3,26
		85%	453	3,32
		90%	486	3,37
		95%	516	3,43
		100%	530	3,46

Tabla.7. Caracterización del color Ultra violeta longitud de onda 405nm.

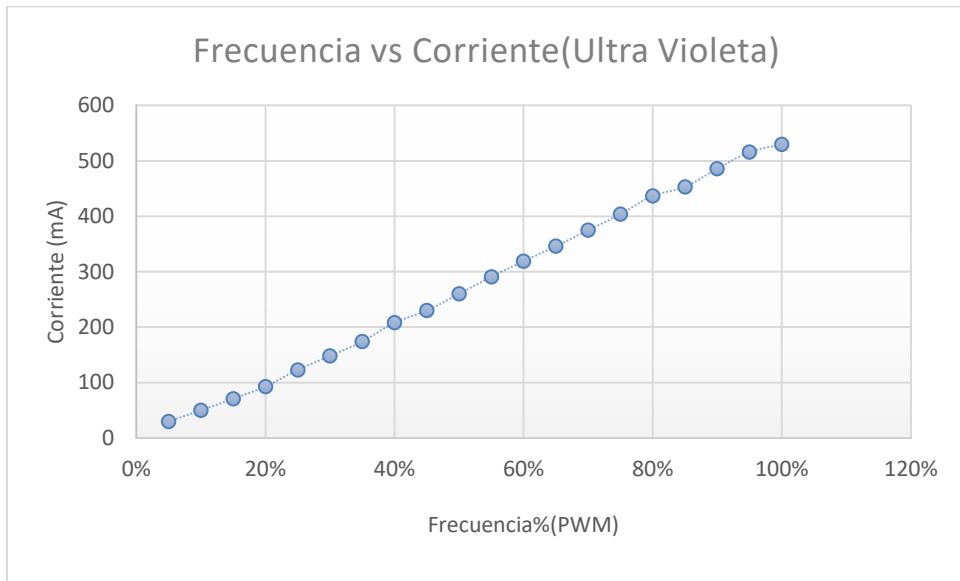


Fig.14. Gráfico del comportamiento de los LEDS Ultravioleta (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	VIOLETA	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	430nm	5%	31	1,91
Potencia	3W	10%	53	2,04
Resistencia Potencia	5W1RJ	15%	78	2,15
		20%	101	2,2
		25%	123	2,32
		30%	147	2,47
		35%	171	2,53
		40%	197	2,64
		45%	221	2,69
		50%	245	2,77
		55%	265	2,87
		60%	294	2,93
		65%	316	3,01
		70%	338	3,08
		75%	366	3,15
		80%	404	3,22
		85%	430	3,28
		90%	454	3,35
		95%	476	3,41
		100%	508	3,44

Tabla.8. Caracterización del color Violeta longitud de onda 440nm.

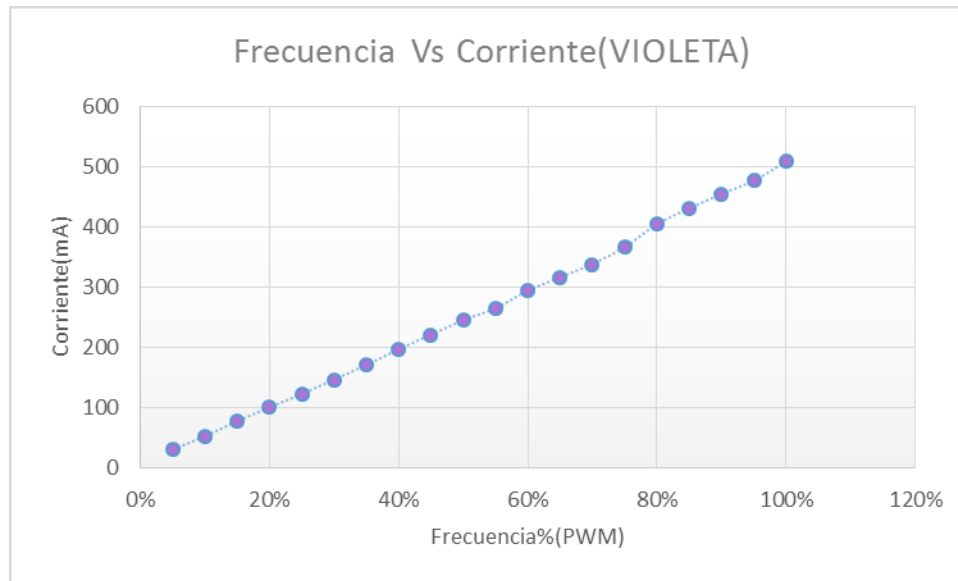


Fig.15. Gráfico del comportamiento de los LEDS Violeta (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	AZUL	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	460nm	5%	37	1,9
Potencia	3W	10%	65	2,09
Resistencia Potencia	5W1RJ	15%	89	2,27
		20%	114	2,38
		25%	142	2,39
		30%	169	2,49
		35%	195	2,57
		40%	219	2,58
		45%	244	2,77
		50%	271	2,87
		55%	303	2,96
		60%	327	3,05
		65%	356	3,13
		70%	384	3,22
		75%	410	3,31
		80%	443	3,4
		85%	474	3,48
		90%	506	3,56
		95%	550	3,64
		100%	565	3,67

Tabla.9. Caracterización del color Azul longitud de onda 460nm.

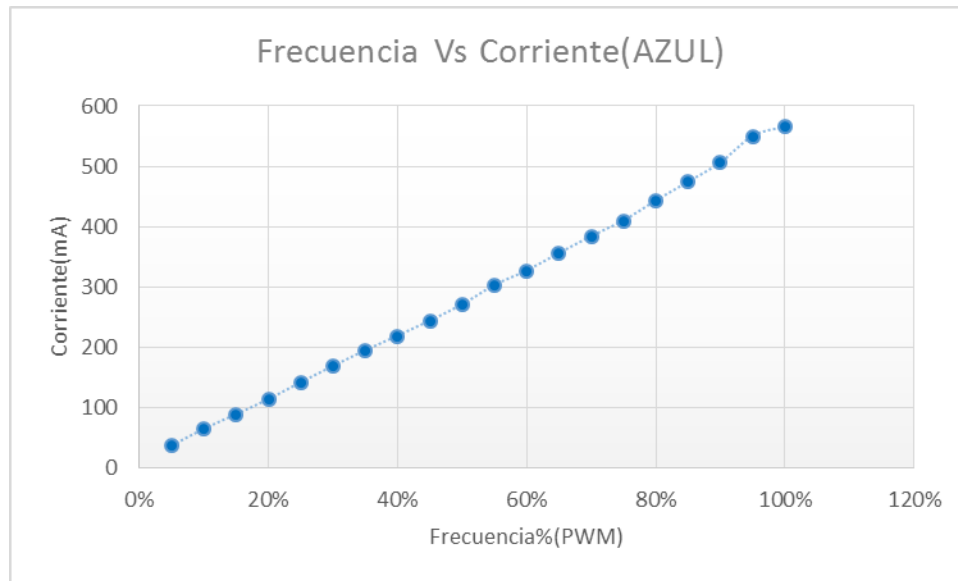


Fig.16. Gráfico del comportamiento de los LEDS Azules (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	CIAN	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	495nm	5%	34	2,04
Potencia	3W	10%	59	2,12
Resistencia Potencia	5W1RJ	15%	84	2,18
		20%	110	2,26
		25%	146	2,32
		30%	172	2,39
		35%	200	2,46
		40%	225	2,53
		45%	254	2,6
		50%	281	2,67
		55%	314	2,74
		60%	346	2,81
		65%	374	2,88
		70%	408	2,9
		75%	436	3,02
		80%	472	3,09
		85%	502	3,16
		90%	532	3,23
		95%	562	3,3
		100%	590	3,33

Tabla.10. Caracterización del color Cian longitud de onda 495nm.

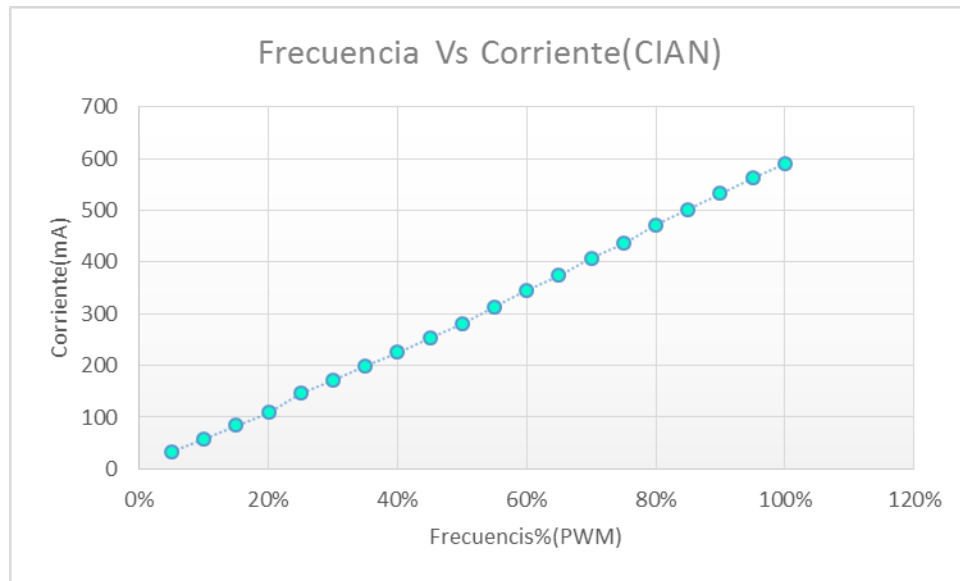


Fig.17. Gráfico del comportamiento de los LEDs Cian (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	VERDE	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	516nm	5%	30	1,9
Potencia	3W	10%	51	1,96
Resistencia Potencia	5W1RJ	15%	72	2,04
		20%	94	2,13
		25%	114	2,21
		30%	136	2,29
		35%	160	2,38
		40%	184	2,46
		45%	207	2,54
		50%	231	2,63
		55%	256	2,71
		60%	280	2,79
		65%	312	2,88
		70%	340	2,97
		75%	366	3,05
		80%	391	3,14
		85%	421	3,22
		90%	456	3,31
		95%	490	3,39
		100%	507	3,37

Tabla.11. Caracterización del color Verde longitud de onda 516 nm.

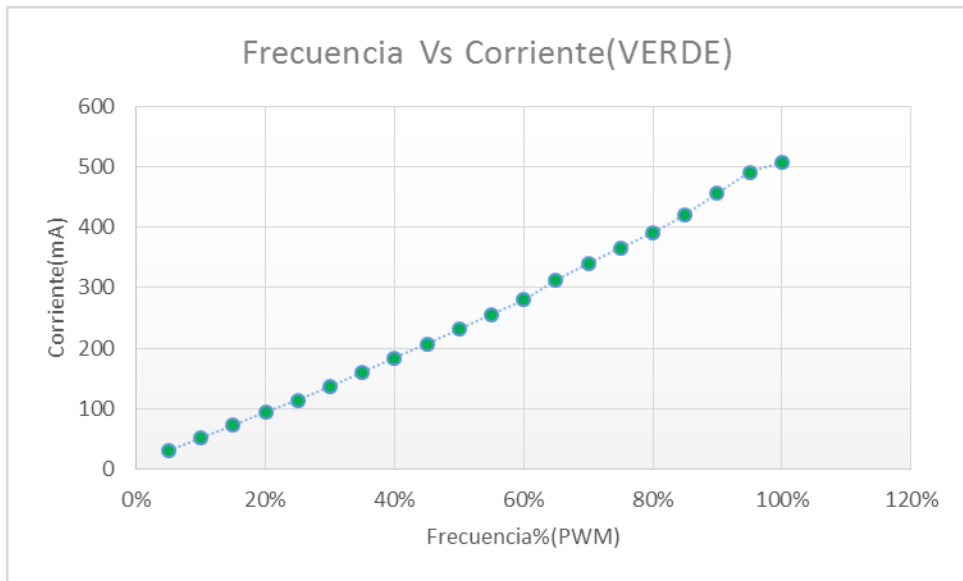


Fig.18. Gráfico del comportamiento de los LEDES Verde (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	CHARTREUSE	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	551nm	5%	40	1,49
Potencia	3W	10%	69	1,48
Resistencia Potencia	5W1RJ	15%	97	1,67
		20%	128	1,75
		25%	156	1,89
		30%	188	1,9
		35%	219	2,16
		40%	252	2,25
		45%	281	2,37
		50%	315	2,47
		55%	350	2,57
		60%	384	2,61
		65%	416	2,77
		70%	452	2,86
		75%	484	2,96
		80%	547	3,05
		85%	560	3,14
		90%	592	3,23
		95%	631	3,33
		100%	652	3,36

Tabla.12. Caracterización del color Chartreuse longitud de onda 551nm.

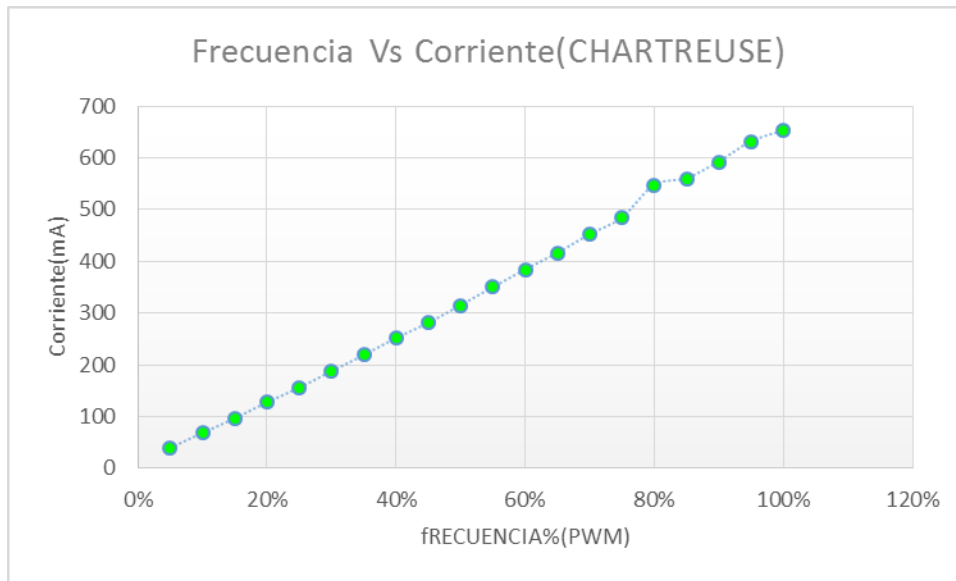


Fig.19. Gráfico del comportamiento de los LEDS Chartreuse (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	AMARILLO	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	590nm	5%	40	1.03
Potencia	3W	10%	70	1,11
Resistencia Potencia	5W4R7J	15%	100	1,2
		20%	130	1,29
		25%	157	1,39
		30%	188	1,47
		35%	219	1,55
		40%	252	1,62
		45%	281	1,68
		50%	315	1,76
		55%	350	1,87
		60%	384	1,93
		65%	416	2
		70%	452	2,06
		75%	489	2,11
		80%	524	2,18
		85%	553	2,23
		90%	586	2,29
		95%	629	2,36
		100%	652	2,36

Tabla.13. Caracterización del color Amarillo longitud de onda 590nm.

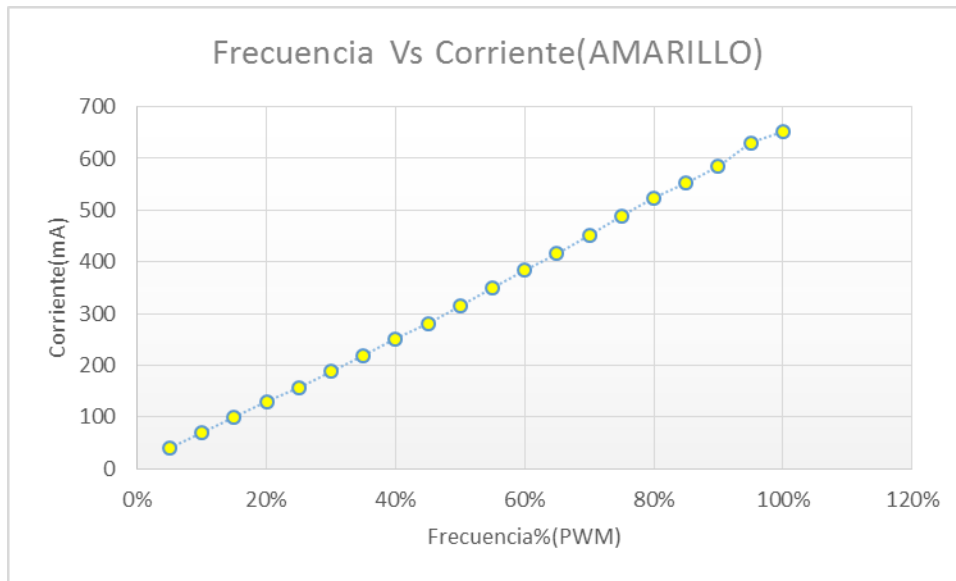


Fig.20. Gráfico del comportamiento de los LEDS Amarillo (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	ROJO	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	618nm	5%	45	0,87
Potencia	3W	10%	77	1,1
Resistencia Potencia	5W4R7J	15%	108	1,18
		20%	138	1,29
		25%	168	1,4
		30%	201	1,53
		35%	235	1,59
		40%	268	1,66
		45%	297	1,71
		50%	300	1,77
		55%	366	1,83
		60%	400	1,89
		65%	431	1,86
		70%	466	1,94
		75%	500	2
		80%	534	2,1
		85%	565	2,16
		90%	600	2,21
		95%	633	2,27
		100%	651	2,28

Tabla.14. Caracterización del color Rojo longitud de onda 618nm.

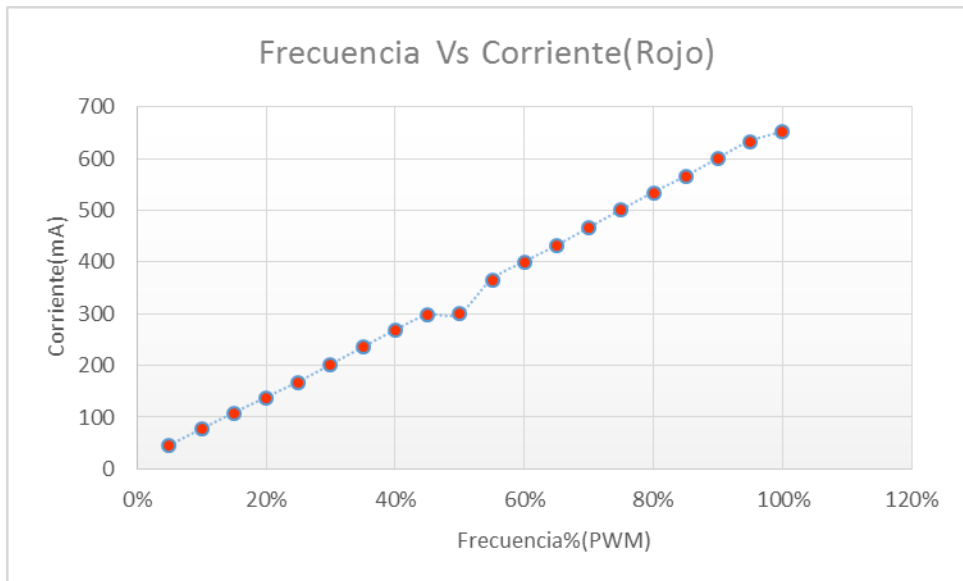


Fig.21. Gráfico del comportamiento de los LEDs Rojo (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	ROJO PROFUNDO	Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	637nm	5%	41	0,82
Potencia	3W	10%	70	0,94
Resistencia Potencia	5W4R7J	15%	100	1,07
		20%	131	1,2
		25%	156	1,3
		30%	192	1,4
		35%	226	1,54
		40%	254	1,6
		45%	280	1,71
		50%	323	1,77
		55%	358	1,83
		60%	394	1,89
		65%	428	1,86
		70%	470	1,94
		75%	504	2
		80%	540	2,1
		85%	572	2,16
		90%	608	2,21
		95%	654	2,27
		100%	670	2,28

Tabla.15. Caracterización del color Rojo Profundo longitud de onda 637nm.

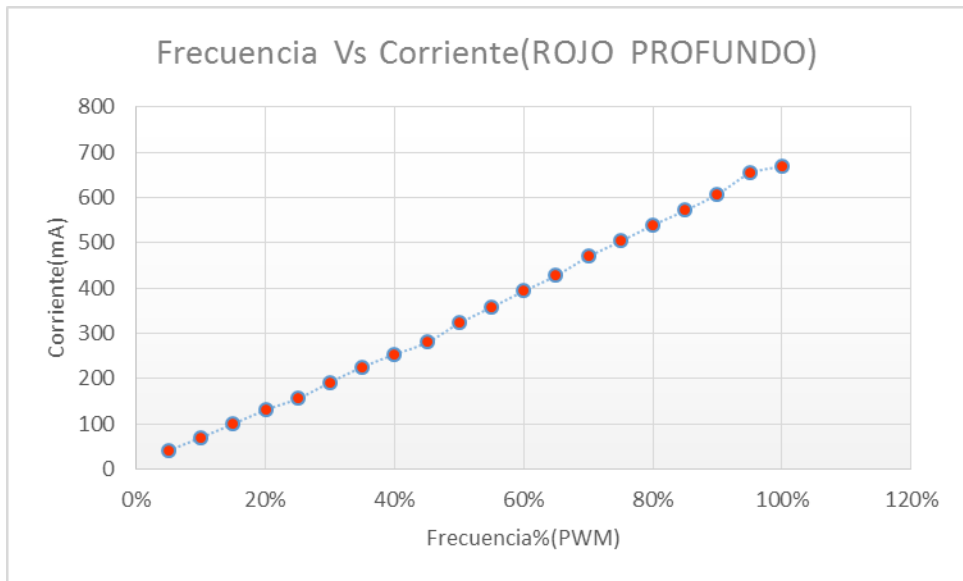


Fig.22. Gráfico del comportamiento de los LEDs Rojo profundo (Frecuencia Vs Corriente).

Color LED	INFRAROJO LEJANO	% Frecuencia (PWM)	Corriente(mA)	Voltaje LED(V)
Longitud de onda	728nm	5%	46	1,06
Potencia	3W	10%	78	1,12
Resistencia Potencia	5W4R7J	15%	109	1,2
		20%	142	1,28
		25%	172	1,32
		30%	205	1,37
		35%	237	1,45
		40%	270	1,5
		45%	301	1,56
		50%	334	1,62
		55%	363	1,68
		60%	398	1,74
		65%	426	1,8
		70%	460	1,86
		75%	497	1,92
		80%	528	1,99
		85%	559	2,05
		90%	591	2,11
		95%	624	2,18
		100%	640	2,2

Tabla.16. Caracterización del color Infrarrojo longitud de onda 728nm.

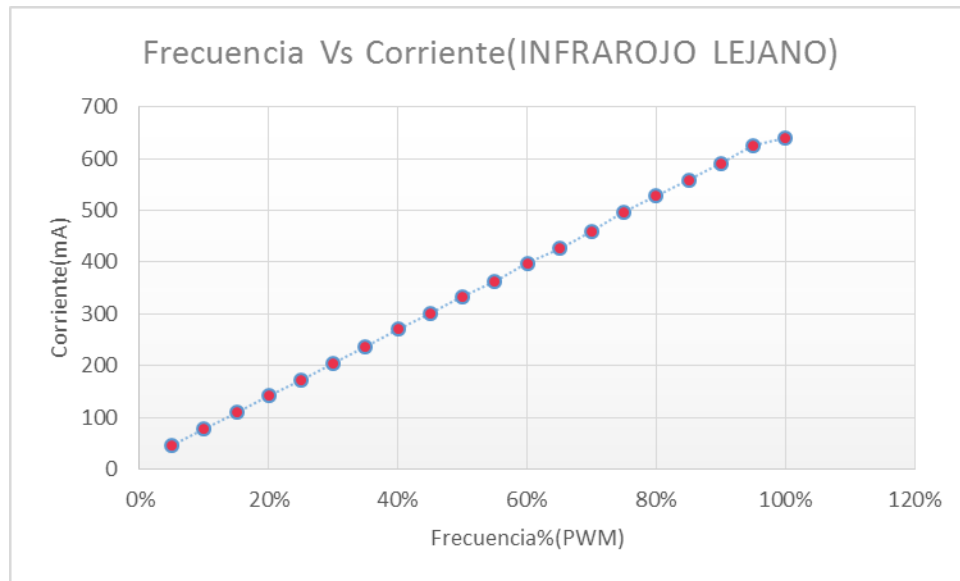


Fig.23. Gráfico del comportamiento de los LEDs Infrarrojo (Frecuencia Vs Corriente).

3.4. Planos electrónicos de potencia

Una vez calculado cada uno de los datos correspondientes para la elaboración del sistema electrónico de potencia se procede a realizar los planos en Eagle. Teniendo en cuenta que se debe garantizar una adecuada eficiencia para diseñar la lámpara hiperespectral se tomó la decisión de diseñar 10 placas independientes para cada longitud de onda distribuidas en los 3 paneles multiplexados de iluminación LED.

En el diseño de los planos se utilizaron 2 borneras de separación verde grandes con dos pines, una para alimentar el circuito a 12V y GND y la otra bornera se utilizó para la entrada del PWM y el GND del Arduino. Además de utilizar un optoacoplador PC817, un transistor Darlington TIP122, Tres resistencias de potencias de 5w el valor de la resistencia será el calculado de acuerdo a cada longitud de onda, dos borneras pequeñas de separación azul de 3 pines para las salidas y las entradas de cada LED y tres resistencias de 220Ω, 2.7KΩ Y 20KΩ respectivamente.

- Para longitudes de onda de 403nm, 430nm, 460nm, 495nm, 516nm y 551nm se utilizara una resistencia de potencia de 5W1RJ como lo muestra en la **Fig.24**.

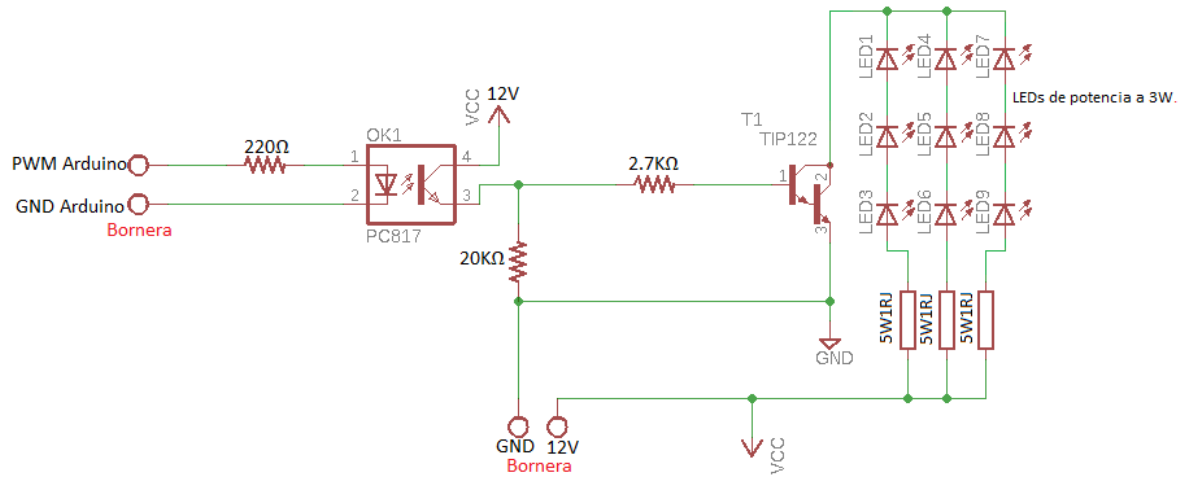


Fig.24. Plano electrónico del sistema de control de la lámpara hiperspectral para longitudes de onda de 403nm, 430nm, 460nm, 495nm, 516nm y 551nm.Eagle.

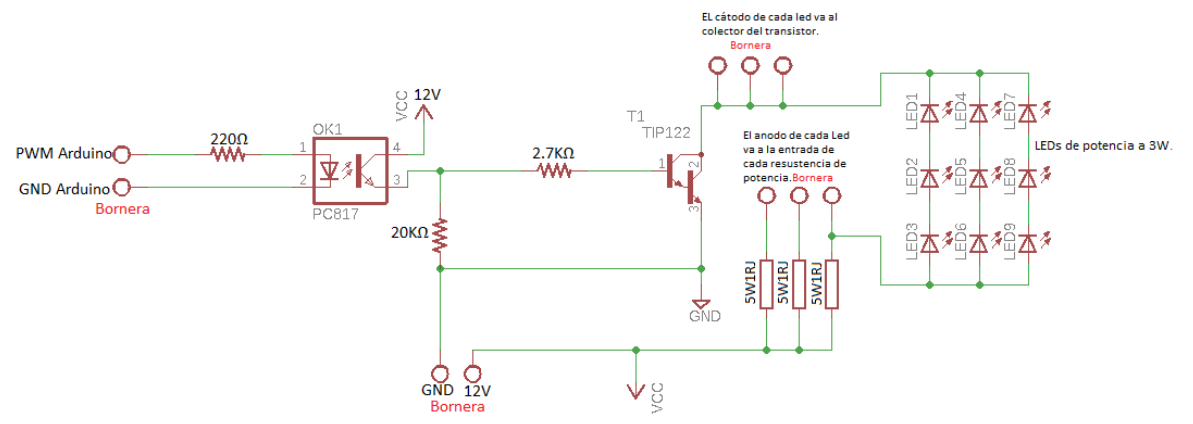


Fig.25. Esquema electrónico con cada componente especificado que se utilizara para el diseño de la lámpara hiperspectral 403nm, 430nm, 460nm, 495nm, 516nm y 551nm.Eagle.

- Para longitudes de onda de 595nm, 618nm, 637nm y 728nm se utilizara una resistencia de potencia de 5W4R7J. Como se muestra en la **Fig.26.**

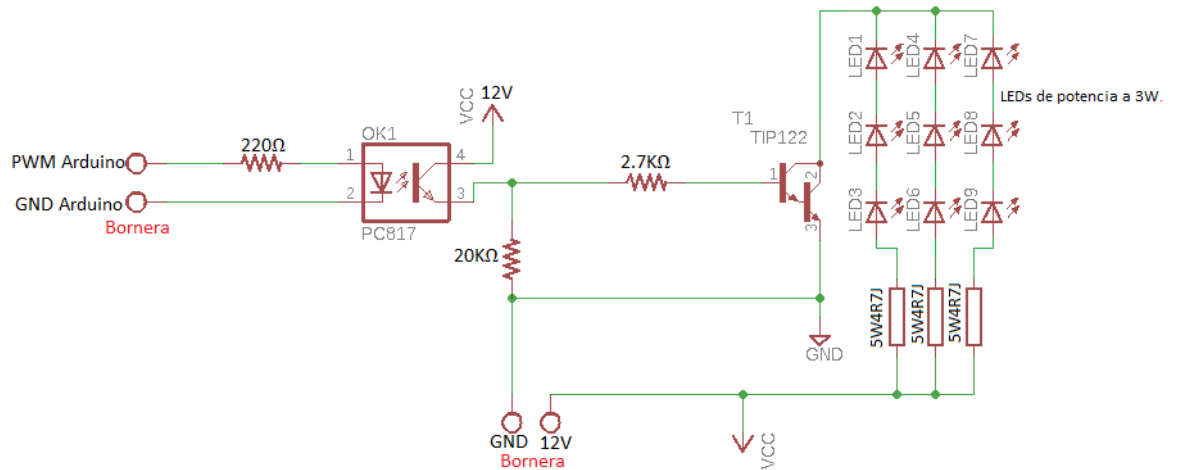


Fig.26. Plano electrónico del sistema de control de la lámpara hiperspectral para longitudes de onda de 595nm, 618nm, 637nm y 728nm.Eagle.

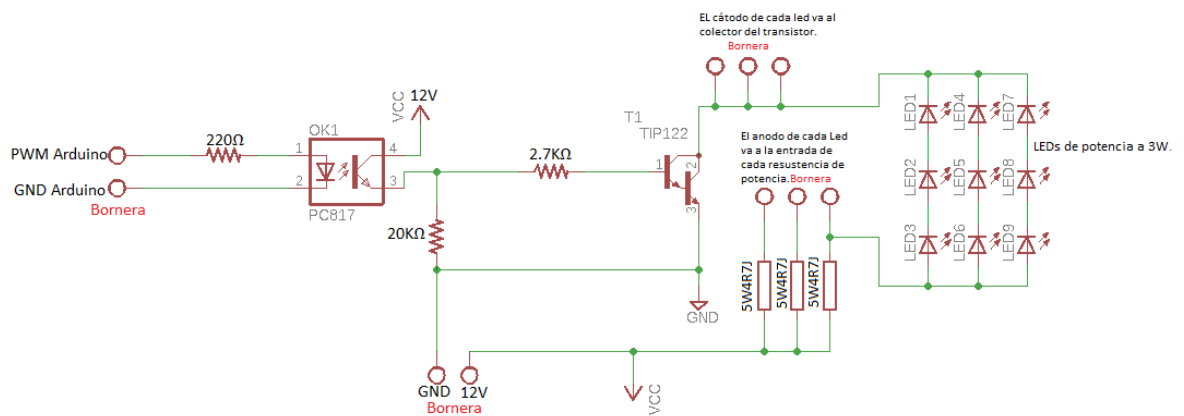


Fig.27. Esquema electrónico con cada componente especificado que se utilizara para el diseño de la lámpara hiperspectral 595nm, 618nm, 637nm y 728nm.Eagle.

Además se diseñó un circuito aparte para la fuente de 12V a 8.5 A para poder alimentar las 10 tarjetas que se diseñaron de acuerdo a cada longitud de onda y el resto de los componentes que contiene la lámpara hiperspectral. Para esto se utilizaron 13 borneras de separación verde de dos pines donde una va a energizar el resto de las borneras en el cual 10 borneras van directamente conectadas a cada

una de las placas que contiene longitudes de ondas diferentes y las otras dos borneras van conectados directamente a dos cooler que se encargaran de mantener todo el circuito de potencia de la lámpara estable, ya que por las altas corrientes que se van a manejar los circuitos van a tender a calentarse.

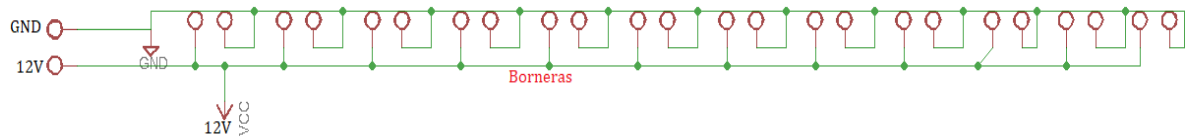


Fig.28. Esquema electrónico para la alimentación de toda la lámpara hiperspectral.

3.5. Planos electrónicos del sistema de control en PCB

Para llevar a cabo la tarjeta electrónica se utilizó el Software Eagle para diseñar cada una de las placas electrónicas utilizadas para la lámpara hiperspectral. Para esto se convirtieron los circuitos de la Fig.25., Fig.27. Y la Fig.28 en PCBs.

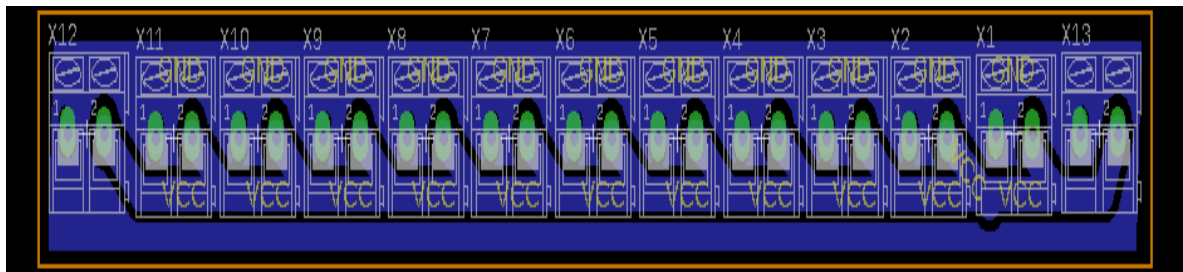


Fig.29. Diseño de la tarjeta electrónica para alimentar la lámpara hiperspectral en Eagle.

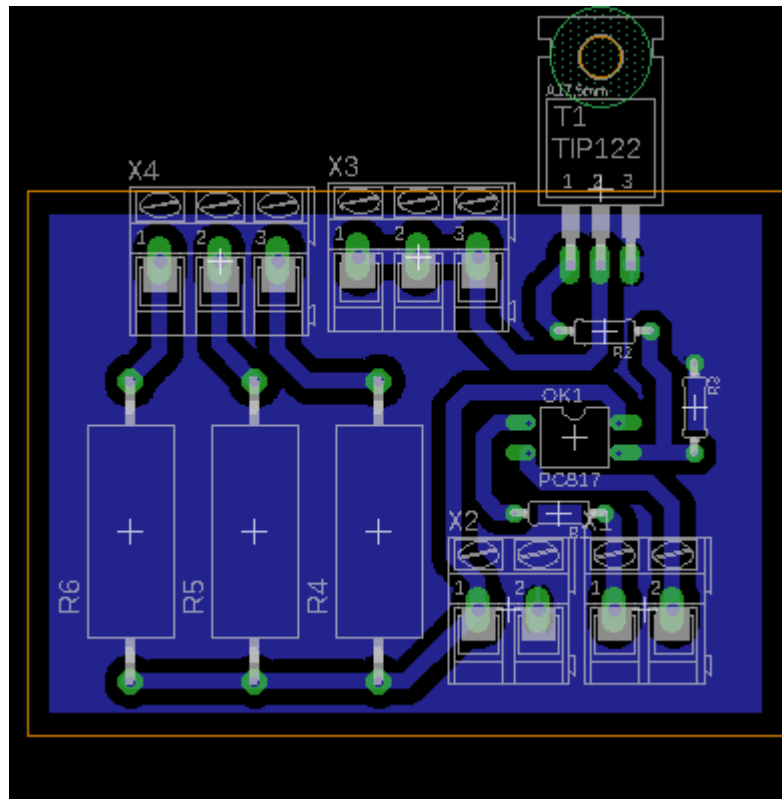


Fig.30. Diseño electrónico del circuito de control para la lámpara hiperespectral en Eagle.

3.6. Configuración y manipulación de la interfaz gráfica

Para el software de la lámpara hiperespectral se desarrolló una interfaz gráfica que permite adquirir imágenes en un entorno controlado con el fin de identificar características o patrones en un objeto.

Para lograr esto se utilizaron las siguientes herramientas como: La aplicación JAI, Microsoft Visual Studio y ARDUINO IDE.

3.6.1. Aplicación JAI

Para la adquisición de imágenes en la interfaz gráfica de usuario se utilizó la cámara AD-081GE y la aplicación JAI, la empresa JAI realiza soluciones innovadoras de cámaras industriales y utiliza tecnología de cámara CCD/CMOS digital para aplicaciones en visión artificial. (Homepage | JAI, 2018).

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.31. Cámara JAI AD-081GE. ("Homepage | JAI", 2018).

De acuerdo con la información de ("Homepage | JAI", 2018). Esta cámara tiene las siguientes características:

1. 2 sensores monocromáticos CCD montados en un prisma óptico.
1024 x 768 pixeles activos por canal.
2. Elección de fusión incorporada de imágenes o rutinas de procesamiento posterior para lograr un rango dinámico de casi 120dB.
3. Operación a 30fps para HDR.
4. Interfaz de GigEVision con salida de 8bits, 10bits o 12bits por canal.
5. Tiempo de exposición programable de 20 μ a 33ms en incrementos de una línea.
6. Salida de video analógico para el control automático de la lente de iris.

La implementación de la aplicación JAI permite a la interfaz gráfica la adquisición de imágenes, guardar las imágenes, reproducir las imágenes como video y mostrar en tiempo real la imagen de la cámara en ese instante, las siguientes imágenes **Fig.32.** Y **Fig.33.** Permiten visualizar la aplicación JAI en funcionamiento y la adquisición de una imagen por la cámara haciendo uso de la aplicación JAI.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

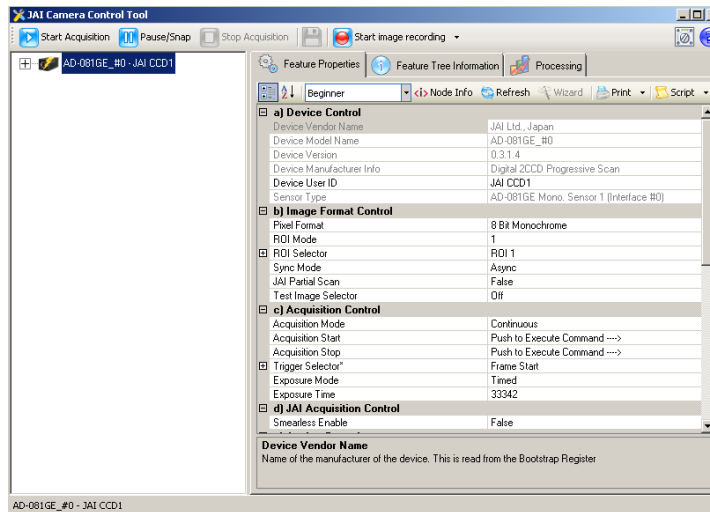


Fig.32. Aplicación JAI.

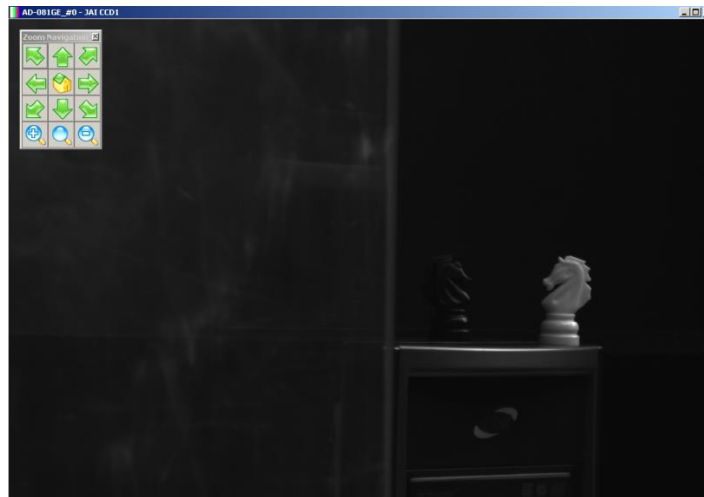


Fig.33. Imagen captada por la cámara usando la aplicación JAI.

3.6.2. Microsoft Visual Studio

Se utilizó Microsoft Visual Studio para el desarrollo de la interfaz gráfica de usuario que controla el funcionamiento de la lámpara hiperespectral. Microsoft Corporation es una multinacional que desarrolla software para computadores personales, servidores, dispositivos electrónicos y servicios. (Stroud, 2018).

A partir de los ejemplos de las interfaces graficas proporcionadas por los desarrolladores de la empresa JAI en el lenguaje de programación C# en Visual Studio, se identificaron los ejemplos con características útiles para el desarrollo de la interfaz gráfica.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

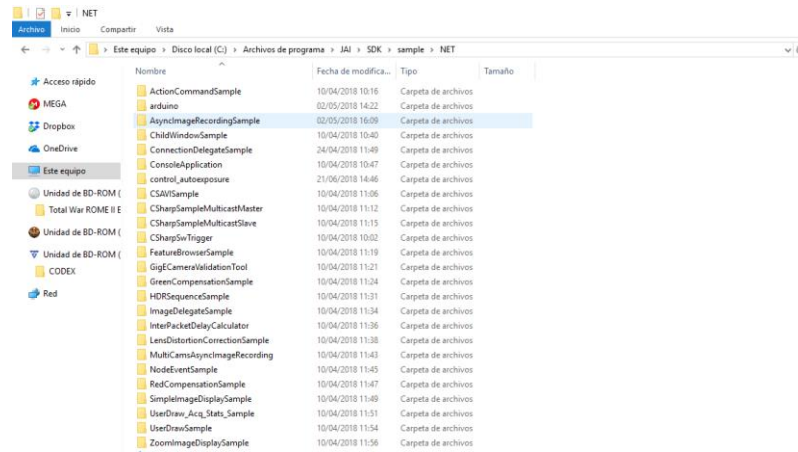


Fig.34. Ejemplos proporcionados luego de la instalación de la aplicación JAI.

Las características encontradas para el desarrollo de la interfaz gráfica son:

La ganancia, tiempo de exposición, ancho y altura de la imagen, almacenamiento de imágenes, guardado de imágenes, numero de imágenes a tomar, reproducción de imágenes tomadas en forma de video y el controlador ALC para identificar la ganancia o tiempo exposición adecuado para la imagen, y a partir de las características se inició el desarrollo de la interfaz gráfica. Luego de realizar un análisis detallado del funcionamiento del código, se desarrolló una interfaz gráfica con las características seleccionadas. Además se agregaron dos funciones principales que son: el modo manual y el modo automático. A continuación la **Fig.35.** Y **Fig.36.** Muestran la apariencia de la interfaz gráfica de usuario para controlar la lámpara hiperespectral.

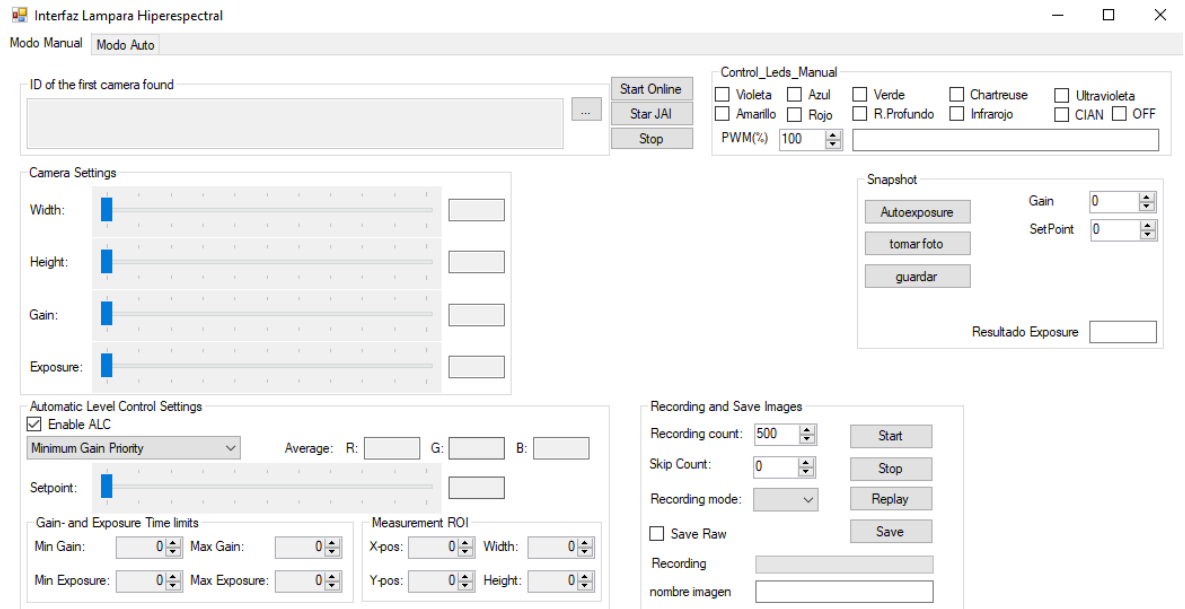


Fig.35. Modo manual de la interfaz gráfica.

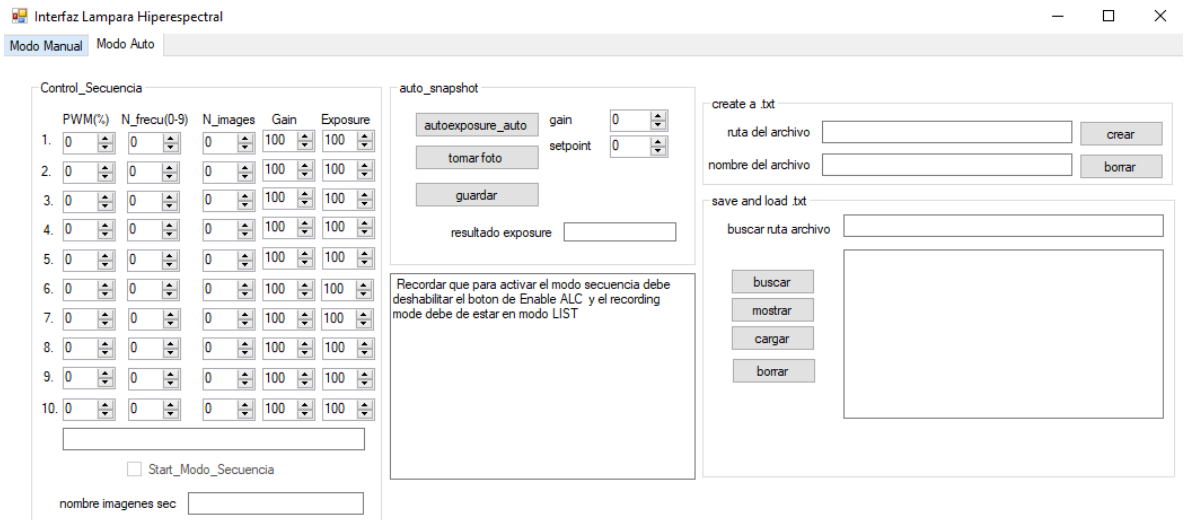


Fig.36. Modo Automático de la interfaz gráfica.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Los modos manual y automático de la interfaz gráfica tienen funciones como:

1. Iniciar y detener la adquisición de imágenes de la cámara.
2. **Control de LEDs de forma manual:** Permite encender uno o varios arreglos de LEDs en específico.
3. **ID de la cámara:** Identifica la ID de la primera cámara conectada.
4. **Ajustes de la cámara:** Se encuentran la ganancia, tiempo de exposición, ancho y altura de la imagen que capta la cámara.
5. **Controlador ALC:** Permite de acuerdo a la función seleccionada dar prioridad a la ganancia o tiempo de exposición para una adquisición de imágenes.
6. **Ganancia y tiempo de exposición límites:** Son los valores por defecto con los que trabaja la cámara.
7. **Grabación y guardado de imágenes:** Permite la toma de imágenes, grabación y guardado de imágenes.
8. **Snapshot:** Toma una imagen a partir de una ganancia (gain) y un setpoint, permitiendo obtener el tiempo de exposición más adecuado para esa imagen.
9. **Control secuencial:** Permite al usuario definir los valores de PWM, arreglo de LEDs específicos a encender, numero de imágenes a tomar, ganancia y tiempo de exposición para la secuencia, es decir, permite una adquisición de imágenes con los diferentes valores ingresados por el usuario de forma automática con solo oprimir un botón.
10. **Autosnapshot:** Tiene la misma función del snapshot, pero la diferencia es que este calcula el valor del tiempo de exposición adecuado a partir del valor de la ganancia en el control secuencial y luego de obtener el resultado del tiempo de exposición para este valor son reemplazados

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

estos valores en el control secuencial, permitiendo una mejor toma de las imágenes.

- 11. Crear un archivo de texto:** Crea un archivo de texto (.txt) en la ruta deseada.
- 12. Mostrar los datos de un archivo de texto en específico:** permite al usuario visualizar los datos dentro del archivo de texto (.txt).
- 13. Cargar los datos de un archivo de texto:** reemplaza los datos de la sección del control secuencial por los datos que se encuentran en el archivo de texto.

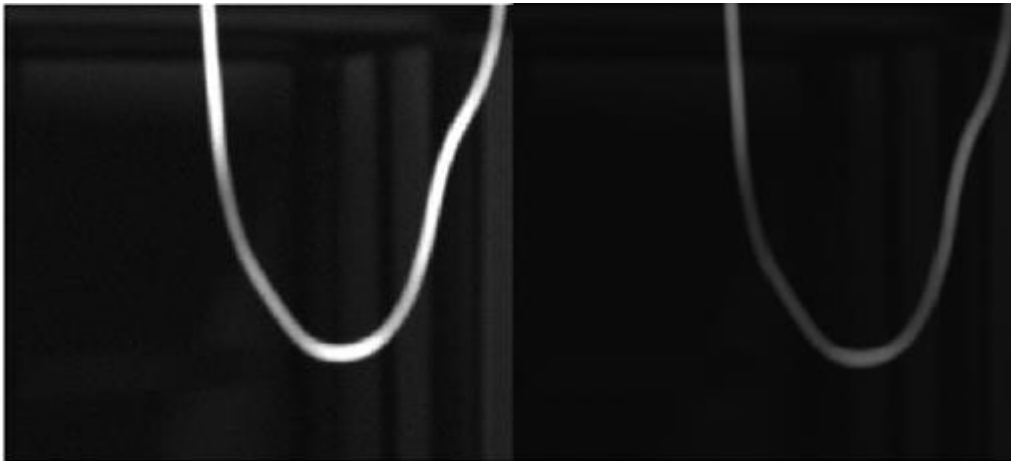


Fig.37. Imagen adquirida usando la interfaz gráfica con diferentes valores de ganancia y tiempo de exposición.

3.6.3. ARDUINO IDE

Es un dispositivo electrónico desarrollado por la compañía Open Source que diseña y construye placas de desarrollo de hardware para construir proyectos interactivos. ("Arduino - Home", 2018).

Para el proyecto se usó un Arduino Mega 2560 R3, principalmente se optó por usar este dispositivo debido a que proporciona 15 salidas PWM permitiendo controlar la intensidad de todos los arreglos de LEDs de la lámpara hiperspectral, el dispositivo tiene las siguientes especificaciones técnicas:

Microcontrolador	Atmega 2560
Voltaje operativo	5V
Pines digitales Entrada/Salida	54 y 15 proveen salidas PWM
Pines análogos de Entrada	16
Corriente DC por cada pin Entrada/Salida	40mA
Memoria Flash	256KB
RAM	8KB
EEPROM	4KB
ClockSpeed	16MHz

Tabla.17. Datos técnicos Arduino mega. ("Arduino - Home", 2018).

La función del Arduino dentro de la lámpara hiperespectral es realizar la comunicación serial con la interfaz gráfica permitiendo al usuario encender o apagar los LEDs.

3.7 Planos para la adquisición de imágenes

3.7.1. Esquemático del sistema de la lámpara hiperespectral

Se observa el esquemático del sistema de la lámpara con sus componentes electrónicos para realizar una adquisición de imágenes.

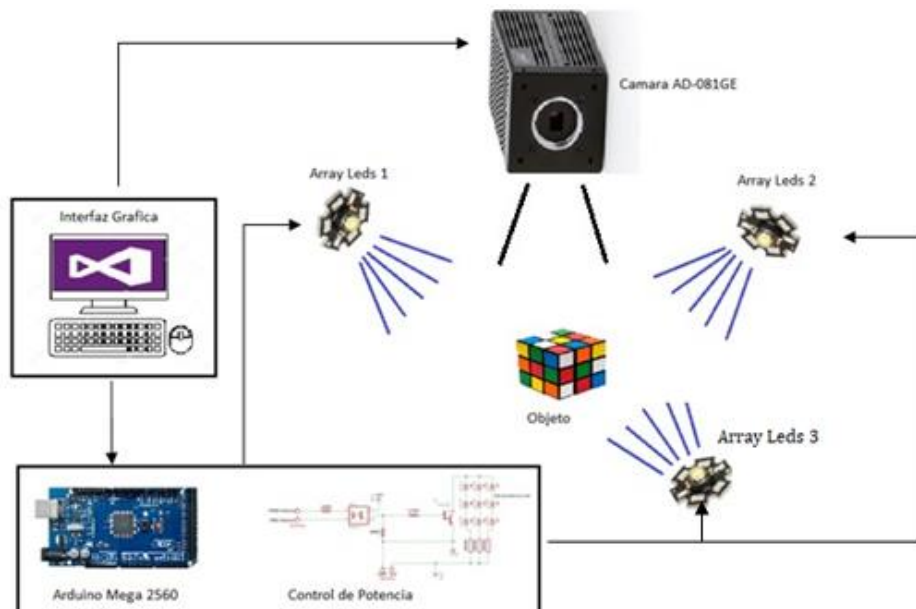


Fig.38. Esquemático de la lámpara hiperespectral para la adquisición de imágenes.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

3.7.2. Plano circuito electrónico de la lámpara hiperespectral

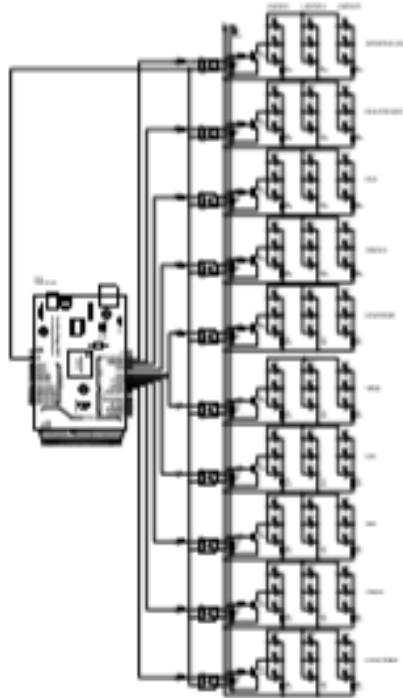


Fig.39.Plano electrónico de toda la lámpara hiperespectral.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados

Como resultados finales se logró realizar el control para la lámpara hiperespectral permitiendo de esta forma la comunicación entre C# y el Arduino.

Como primera instancia se logró controlar la potencia de cada una de los arreglos de LEDs a través de las salidas PWM del Arduino. En donde el PWM variaba del 0 al 100% siendo 0 el valor más bajo del PWM y 100 el valor más alto del PWM.

Por consiguiente se anexaron las imágenes del encendido de la lámpara hiperespectral de acuerdo a cada longitud de onda. Como se muestran en las **Fig.40.**, **Fig.41.**, **Fig.42.**



Fig.40. Montaje físico de la lámpara hiperespectral.

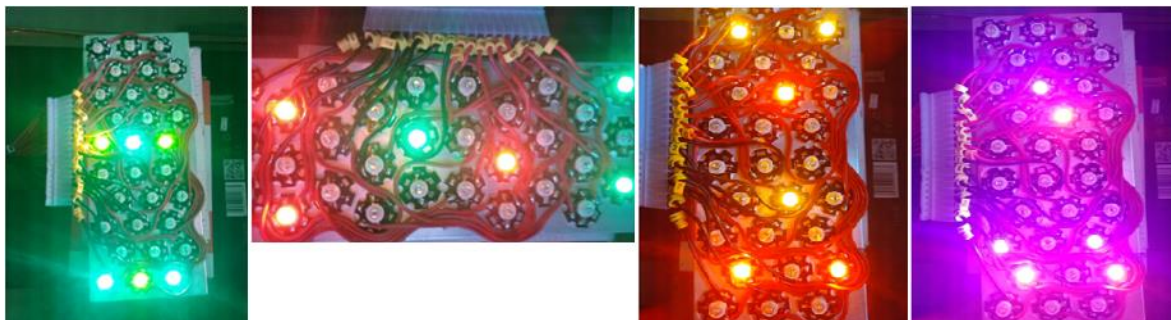


Fig.41. Combinación de dos longitudes de ondas diferentes para lámpara hiperespectral.

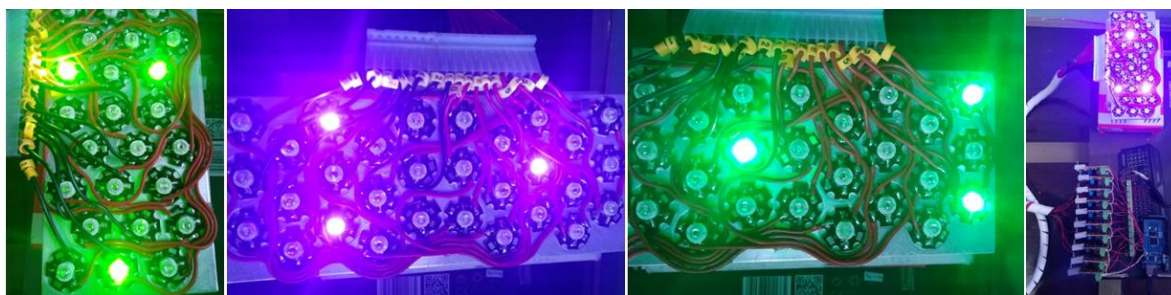


Fig.42. Encendido de una red de LEDs con una sola longitud de onda.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

El software desarrollado es utilizado para adquirir imágenes por cada longitud de onda, se realizaron pruebas de adquisición de imágenes variando la ganancia y el tiempo de exposición de la cámara a través de la interfaz gráfica, se presentan los resultados a continuación en la **Fig.43.**, **Fig.44.**, **Fig.45.** Y en la **Fig.46.** Se visualiza la interfaz gráfica adquiriendo las imágenes anteriores.

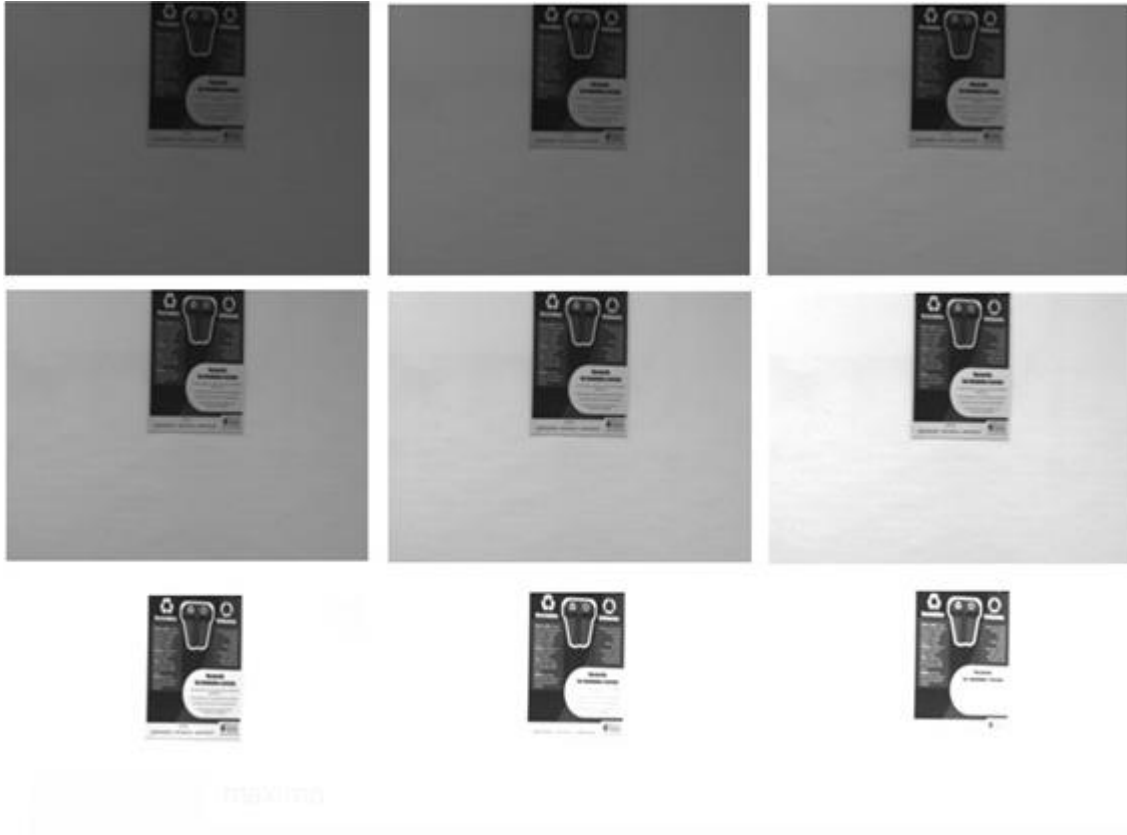


Fig.43. Adquisición de imágenes para ganancia de 100 a 550 y el tiempo exposición máximo.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22



Fig.44. Adquisición de imágenes con ganancia máxima y el tiempo de exposición 80 a 972.

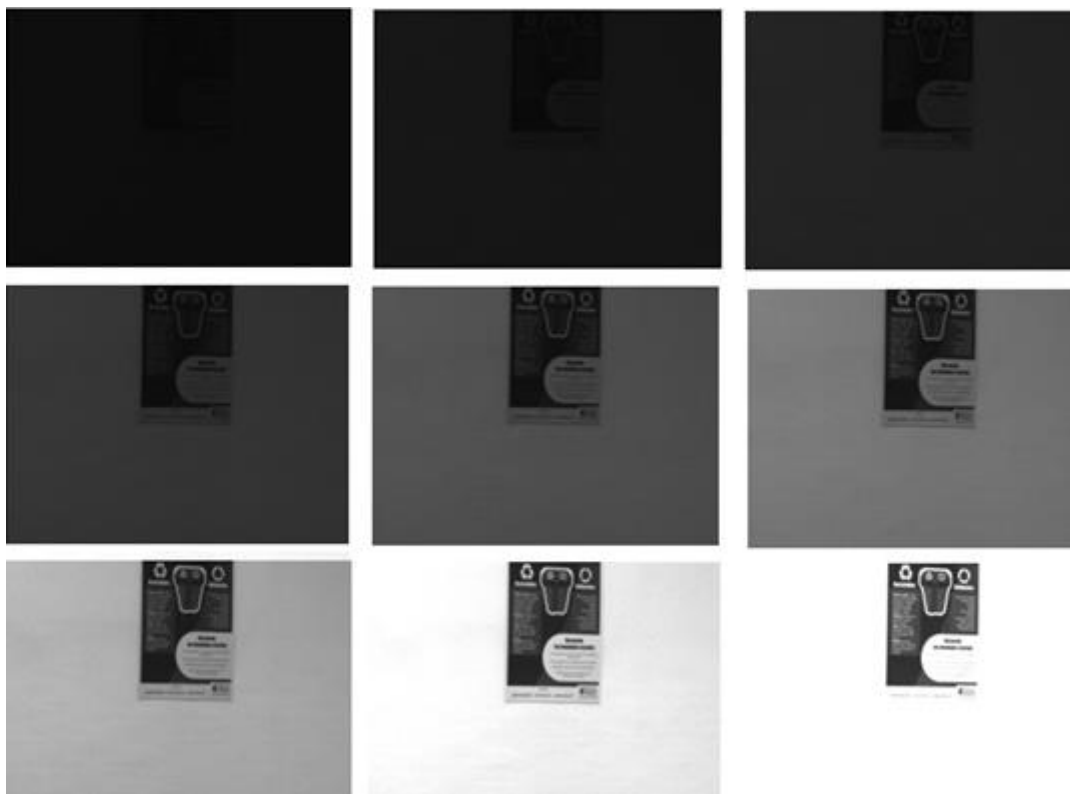


Fig.45. Adquisición de imágenes con valores de ganancia y el tiempo de exposición 60 a 600.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

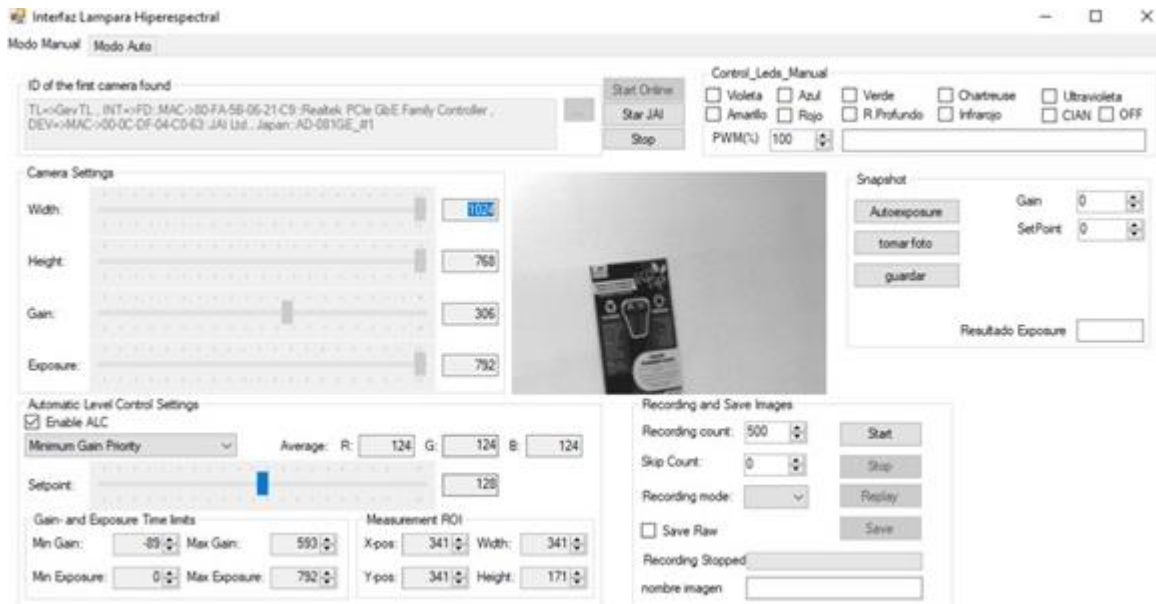


Fig.46. Adquisición de imágenes por medio de interfaz gráfica.

Se observa en los resultados obtenidos que la ganancia y el tiempo de exposición son factores muy importantes para la adquisición de imágenes del entorno, haciendo uso de la interfaz gráfica, ya que al variar ambos valores las imágenes adquiridas cambiarán.

La ganancia es un factor importante debido que al tener una ganancia muy baja la imagen se verá oscura, de lo contrario, si la ganancia es muy alta la imagen tendría un excedente de luz evitando que se visualice bien la imagen, por lo que se recomienda es buscar una ganancia adecuada para la imagen de forma manual.

El tiempo de exposición tiene una gran influencia en la calidad de las imágenes cuando se lleva a cabo una adquisición de imágenes, ya que el tiempo de exposición representa la cantidad de luz que permitirá ingresar el diafragma de la cámara.

Una de las ventajas de la interfaz gráfica es que esta permite hacer uso de un controlador en el modo manual o automático, usando la interfaz en modo manual podemos modificar los valores de ganancia y tiempo de exposición para identificar cuáles son los valores adecuados para la longitud de onda y usando el modo automático se selecciona que

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

variable tendrá prioridad, la ganancia o el tiempo de exposición con el propósito de que automáticamente encuentre los valores deseados de las variables para la adquisición de imágenes.

NOTA: El manual de la interfaz gráfica para su instalación y su uso se encuentra en el archivo con nombre de “Manual_usuario_interfaz”.

4.2. Discusiones

- Al comparar la implementación del proyecto con respecto al proyecto de (Rangkuti, HarmokoSaputro&Imawan, 2017) nos podemos dar cuenta que ellos implementan dos lámparas y una región de longitud de onda de 400nm a 1000nm lo que esto significa que tienen una mayor región de longitudes de onda para la adquisición de imágenes, mientras que en el presente trabajo se utilizaron tres lámparas hiperespectrales multiplexadas con diez longitudes de ondas diferentes desde los 405nm hasta los 728nm permitiendo cubrir una mayor área, teniendo en cuenta la iluminación LED gracias a la cantidad de lámparas implementadas.
- Al comparar el proyecto de (SuoChing&ZubirMatJafri, 2015) Se identificó que trabajan en una región espectral de 431nm a 642 nm haciendo uso de una luz fluorescente en la región infrarroja, mientras que la lámpara hiperespectral implementada en este documento, trabaja a una mayor longitud de onda y con diferentes longitudes de onda para la iluminación LED.
- Al comparar con la ilustración del sistema de imagen hiperespectral de (Li et al., 2015) se identificó que trabajan con cinco diferentes tipos de luz LED en el cual hacen uso de una cámara a color (RGB). Por lo tanto la lámpara hiperespectral implementada en este trabajo tiene más ventajas debido a que usa una cámara monocromática para adquisición de imágenes estáticas y no obstante utiliza 10 tipos de luz LED.
- Al comparar con (Setiadi&Nasution, 2018) se tienen grandes desventajas con respecto al proyecto que realizaron, debido a que implementaron 12 longitudes de onda entre 350nm y 970nm, mientras que nosotros tenemos 10 longitudes de onda.

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

sin embargo se encontró como ventaja en este trabajo que se desarrolló una mejor interfaz gráfica de usuario para la adquisición de imágenes.

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

5.1. Conclusiones

- Se logró implementar un circuito de control de potencia que permite variar el PWM de los LEDs en una lámpara multiplexada por medio de una interfaz gráfica sin importar cuál de las 10 longitudes de onda se esté usando. los cálculos realizados para la selección de los componentes del circuito fueron adecuados, ya que este funciona sin ocasionar daños en los componentes electrónicos por el aumento en el consumo de corriente de la lámpara hiperspectral.
- Como resultado de las pruebas de adquisición de imágenes, es posible observar por medio de las imágenes que las variables de ganancia y tiempo de exposición son factores muy importantes a la hora de realizar la adquisición de imágenes de un objeto dependiendo de la longitud de onda que se pretende usar, debido a que la calidad de la imagen depende de estas variables.
- Se desarrolló un software a partir de los ejemplos que proporcionaron los desarrolladores de la cámara utilizada al instalar la aplicación JAI e implementamos nuevas funcionalidades en la interfaz gráfica para la adquisición de imágenes con diferentes longitudes de onda encendiendo una red de LEDs, esta red de LEDs es controlada a través de la comunicación serial entre Arduino y C# para el control de potencia y encendido de los LEDs que se encuentran en las lámparas multiplexadas.
- La evidencia que se mostró anteriormente del encendido de diferentes redes de LEDs de las lámparas multiplexadas demuestra que diferentes longitudes de ondas pueden ser combinadas para realizar una adquisición de imágenes del objeto a

	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

analizar, sin embargo se debe tener en cuenta que el consumo de corriente aumenta al encender varias redes de LEDs.

5.2 Recomendaciones

- El Arduino Mega 2560 implementado para el control de potencia de los LED utiliza 10 pines PWM, es decir, permite utilizar 10 longitudes de onda. Debido a las especificaciones del Arduino este posee 15 salidas como PWM permitiendo aumentar la cantidad de longitudes de ondas hasta 15, ya que a mayor cantidad de longitudes de onda es más preciso el análisis al realizar la adquisición de imágenes en busca de características o patrones en un objeto.
- Otro aspecto importante al momento de iniciar una adquisición de datos es que no se debe exagerar en la cantidad de imágenes a tomar, debido a que un mayor número de imágenes a tomar es mayor tiempo de procesamiento y menor cantidad de imágenes a tomar es menor tiempo de procesamiento, se hace referencia a esto por el motivo de que al momento de guardarlas el sistema se demorara en tiempo de procesamiento de acuerdo a la cantidad de muestras programadas para la adquisición de imágenes, y el tiempo de espera para guardarlas será mucho mayor en el modo automático que en el modo manual si la cantidad de imágenes es muy elevada utilizando la sección de control secuencial.
- El tiempo de exposición para la cámara de la lámpara hiperespectral es de 20 μ s a 33 ms lo que nos da a entender que es muy poco tiempo de exposición ya que la cámara es muy rápida para la adquisición de imágenes y en otros entornos puede resultar para las longitudes de onda u objetos tener un tiempo de exposición mayor a los 5 minutos permitiendo adquirir más datos para analizar con la adquisición de imágenes.

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

5.3. Trabajo a Futuro

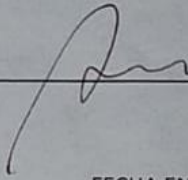
La cámara implementada para la lámpara hiperespectral actualmente está trabajando con una interfaz GigEVision con una salida de 8 bits, lo que se sugiere para un trabajo futuro es investigar cómo implementar esa interfaz con una salida de 10 o 12 bits, esto con el fin de que al realizar una adquisición de imágenes permita que las imágenes que resulten muy oscuras u opacas, es decir, imágenes poco deseadas puedan ser mejoradas por medio de una función que realce la imagen adquirida en el entorno, permitiendo al usuario realizar análisis en entornos oscuros.

REFERENCIAS

- *Arduino - Home. (2018). Retrieved from <https://www.arduino>*
- *Carretero Montero, A. (2011). Electrónica (pág. 121). Pozuelo de Alarcón: Editex.*
- *Coffey.V. (2015).Hyperspectral imaging for Safety and Security/ Optics & Photonics news. Retrieved from https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_26/October_2015/features/hyperspectral_imaging_for_safety_and_security/*
- *Cony Setiadi, I., & T. Nasution, A. (2018). Design and characterization of a LED-based multispectral imaging system applied to dermatology. IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore-ieee-org.itm.elogim.com:2443/document/8372763/authors>*
- *Espectro electromagnético. (2018). Retrieved from https://es.wikipedia.org/wiki/Espectro_electromagn%C3%A9tico*
- *Gago Calderón., A., & Fraile, J. (2012). Iluminación con tecnología LED (pp. 27-31). Ediciones Paraninfo, S.A.*
- *Homepage | JAI. (2018). Retrieved from <https://www.jai.com/>*
- *Laure Fauch, Ervin Nippolainen, Victor Teplov, and Alexei A. Kamshilin (2010).Recovery of reflection spectra in a multispectral imaging system with light emitting diodes. ©2010 OpticalSociety of America.*
- *Li, H., Feng, J., Yang, W., Wang, L., Xu, H., Cao, P., &Duan, J. (2015). Multi-spectral Imaging Using LED Illuminations. IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore-ieee-org.itm.elogim.com:2443/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=6469964>*
- *Martín Castillo, J.Electrónica (Pág.83). Pozuelo de Alarcón: Editex.*

 Institución Universitaria	INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

- Rangkuti, M., Harmoko Saputro, A., & Imawan, C. (2017). Prediction of soluble solid contents mapping on Averrhoacarambola using hyperspectral imaging. IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore-ieee.org.itm.elogim.com:2443/document/8304174/authors>.
- Rejas Ayuga, J., & Murillo Mozota, F. (2017). Teledetección aplicada a la arqueología. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/313408703_Teledeteccion_Aplicada_a_la_Arqueologia
- Rodríguez García., & Virgós, J. (1998). Fundamentos de óptica ondulatoria (Pág.37). Oviedo: Servicio de publicaciones de la universidad de Oviedo.
- SuoChing, T., & Zubir MatJafri, M. (2015). Guava Defect Detection Using Hyperspectral Imaging with Fluorescent Light Source. IEEE. Retrieved from <https://ieeexplore-ieee.org.itm.elogim.com:2443/stamp/stamp.jsp?tp=&arnumber=7449409>
- Stroud, D. (2018). IDE de Visual Studio, editor de código, TeamServices y Mobile Center. Retrieved from <https://visualstudio.microsoft.com/es/?rr=https%3A%2F%2Fwww.google.com.co%2F>
- Yule Burbano, H. (2013). FUSIÓN DE IMÁGENES HIPERESPECTRALES Y VISIBLES PARA LA CLASIFICACIÓN DE RESIDUOS PLÁSTICOS. Retrieved from <https://repository.javeriana.edu.co/bitstream/handle/10554/13600/YuleBurbanoHernanCamilo2013.pdf?sequence=1>

<p>FIRMA ESTUDIANTES</p>	<p><u>Julian David Gomez Granda</u></p> <p><u>E. Montoya</u></p> <p><u>Daniel Uribe D.</u></p>
<p>FIRMA ASESOR</p>	<p></p>
<p>FECHA ENTREGA: <u>31/07/2018</u></p>	

<p>FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____</p>
<p>RECHAZADO ___ ACEPTADO ___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES ___</p>
<p>ACTA NO. _____</p>
<p>FECHA ENTREGA: _____</p>

<p>FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____</p>
<p>ACTA NO. _____</p>
<p>FECHA ENTREGA: _____</p>