

Modulo motorizado para ilustrar la difracción, atenuación y absorción de ondas electromagnéticas en el espectro infrarrojo; utilizando tecnologías libres y de bajo costo.

Diego Parra,* Julian Salamanca[†]

Universidad Distrital, Calle 3 No 26A-40 Bogotá-Colombia
Grupo de Física e Informática “FISINFOR”

March 7, 2016

Abstract

This writing describes in detail the construction of a motor vehicle taking advantage of the technological wonders of semiconductors to control hardware with a ATMEGA328P-Pu microcontroller with serial communication via Bluetooth to a computer whose operating system is GNU-Linux, equipped with a side infrared sensor illustrating the diffraction phenomenon and calculates the wavelength emitted by the LED diode emitting infrared; also it has a pair of emitter sensors - infrared receiver on the front of the vehicle, the infrared sensor front and infrared emitter front illustrate the law of decay density radiansa with the square of the distance to the radiating source, the reflectance and transmittance that occurs due to the interaction of the radiation with matter.

This project also has instructions for using the control software free infrarossi and their respective installation, whose function is to control the actions taken by the infrarossi vehicle, both forward and capture data from the side and front sensors and control the radiant source photon in the infrared, for examination. It is noteworthy that all this communication between the motor module infrarossi and control software comes pre designed to be via bluetooth.

Keywords: infrarossi motorized module, control software free infrarossi, law decay density radiansa with the inverse square, reflectance, diffraction, serial communication, bluetooth, GNU-Linux, software, hardware.

Resumen

El presente escrito, describe detalladamente la construcción de un vehículo motorizado aprovechando las maravillas tecnológicas de los semiconductores para el control de hardware con un microcontrolador atmega328P-Pu, con comunicación serial vía bluetooth con un ordenador cuyo sistema operativo es GNU-Linux, equipado con un sensor infrarrojo lateral que ilustra el fenómeno de difracción y calcula la longitud de onda emitida por el diodo led emisor en infrarrojo; también tiene un par de sensores emisor – receptor infrarrojo en la parte del frente del vehículo, el sensor infrarrojo frontal y el emisor infrarrojo frontal ilustran la ley del decaimiento de la densidad de radiansa con el cuadrado de la distancia a la fuente radiante, la reflectancia y transmitancia que ocurre debido a la interacción de esta radiación con la materia.

Este proyecto cuenta también con las indicaciones para el uso del software de control free infrarossi y su respectiva instalación, cuya función es controlar las acciones que realiza el vehículo infrarossi, tanto avanzar y capturar datos de los sensores lateral y frontal como de controlar la fuente radiante de fotones en el infrarrojo, para su respectivo análisis. Cabe mencionar que toda esta comunicación entre el modulo motorizado infrarossi y su software de control viene pre diseñada para que sea vía bluetooth.

Descriptores: Modulo motorizado infrarossi, software de control free infrarossi, ley de decaimiento de la densidad de radiansa con el inverso del cuadrado, reflectancia, difracción, comunicación serial, bluetooth GNU-Linux, software, hardware.

*diegoestudianteud1@gmail.com

[†]jasalamanca@udistrital.edu.co

1 Introducción

En la actualidad, una cantidad de instrumentos de laboratorio para la enseñanza en física y especialmente de fenómenos electromagnéticos, transporte e inyección de energía a los portadores de carga en los semiconductores, portentos ondulatorios, etc.; son muy costosos, incluso estos instrumentos son exclusivos de los departamentos de ciencias en diferentes universidades y laboratorios, lo que dificulta el acercamiento de la población a estas manifestaciones físicas; un caso especial es el estudio de las propiedades de las ondas electromagnéticas y su dualidad onda – partícula, en determinadas frecuencias “caso clásico” o en paquetes de energía discreta según su longitud de onda “caso cuántico”; específicamente en cuestión de frecuencias o longitudes de onda que corresponden al espectro electromagnético infrarrojo, concretamente cuando se habla de difracción, atenuación, absorbancia, transmitancia, reflectancia, ley de decaimiento de la densidad de radianza con el inverso del cuadrado de la distancia a la fuente; solo se tiene como marco de estudio de estos portentos fenómenos ondulatorios infrarrojos a la espectrometría infrarroja, que es usada habitualmente por estudiantes de medicina, química, biología, etc., muy especializados, con instrumentos muy costosos y precisos; lo que deja sin aproximarse a los demás estudiantes de ciencias exactas a estos tópicos de la física que están presentes en la vida diaria y que no son visibles al ojo humano.

El objetivo de este trabajo de grado es diseñar un instrumento de laboratorio que sea capaz de ilustrar tres portentos físicos de la radiación electromagnética y su dualidad onda – partícula; los cuales son: difracción en infrarrojo, reflectancia en el infrarrojo y ley del decaimiento de la irradianza con el inverso del cuadrado de la distancia a la fuente. Esto con el fin de dejar referencia que en la actualidad no se estudia de manera cómoda los fenómenos ondulatorios y de interacción de esta manifestación física de la energía con la materia, en el espectro de esta longitud de onda como lo es el infrarrojo.

Por esta razón se elabora muy cuidadosamente un instrumento que llene las expectativas de aprendices y docentes de carreras afines a estos asuntos; el cual es económico, con materiales de fácil acceso, que es capaz de aproximar al educando a portentos como lo es la difracción, la ley del decaimiento de la densidad de radianza con el inverso del cuadrado de la distancia a la fuente radiante, la reflectancia y transmitancia que ocurre debido a la

interacción de esta radiación con la materia, en el rango infrarrojo del espectro.

A este instrumento se le denomina *modulo motorizado infrarossi*, el cual es un vehículo de tracción electromagnética, con comunicación serial vía bluetooth con un ordenador GNU-Linux, equipado con un sensor infrarrojo lateral para ilustrar el fenómeno de difracción, un sensor infrarrojo frontal y un emisor infrarrojo frontal para ilustrar la ley del decaimiento de la densidad de radianza con el cuadrado de la distancia a la fuente radiante, la reflectancia y transmitancia que ocurre debido a la interacción de esta radiación con la materia; el modulo infrarossi es capaz de acercar de manera cualitativa y cuantitativa al estudio de estos contenidos, pues aparte del instrumento que obtiene los datos, también cuenta con un software de control y análisis de datos obtenidos, a este software se le designa el nombre de *software de control free infrarossi*, el cual complementa el modulo motorizado infrarossi, convirtiéndolo en una herramienta de laboratorio muy precisa, económica, fácil de utilizar, con su propio repositorio en github, con buena documentación, fácil de manipular e instalar.

2 Diseño experimental

El diseño elegido para este montaje es el de un vehículo de tracción electromagnética, con cuatro ruedas, dos delanteras y dos traseras, se ubicara (visto desde las ruedas traseras) un diodo receptor infrarrojo en la parte lateral derecha, un diodo emisor y otro receptor infrarrojo en la parte frontal del vehículo, todos los sensores deben quedar a una distancia de seis centímetros del suelo, cuenta también con un microcontrolador atmega 328 P-PU que es el encargado de controlar los sensores infrarrojos, el diodo emisor infrarrojo y la distancia que debe avanzar el vehículo; la comunicación del vehículo con el ordenador se realiza con un modulo bluetooth hc-05, el cual tiene como tarea principal informarle al microcontrolador atmega 328 P-PU las ordenes que debe realizar, dispuestas por el investigador y enviadas por el ordenador al dispositivo bluetooth.

Utilice todas las medidas de seguridad al momento de manipular las herramientas para moldear este proyecto; a continuación se detalla su elaboración.

¹Se utilizo ordenador toshiba satellite skullcandy con sistema operativo linux mint 17.2

²Para realizar la parte de control del hardware.

2.1 Materiales para el montaje

- a. Un ordenador con sistema operativo GNU-Linux¹.
- b. Microcontrolador atmega² 328P-PU [1].
- c. Dos diodos led infrarrojos receptores de 5mm.
- d. Un diodo led infrarrojo emisor de dimensiones 5.0x7.6mm, de longitud de onda $\lambda = 940nm$, el cual tiene un color estándar agua clara.
- e. Un motor de 9 voltios DC con sistema de engranajes de eje móvil³.
- f. Modulo Bluetooth⁴ HC-05.
- g. Transistor⁵ LM-7805CV [2].
- h. Un cristal de 16 MHz.
- i. Tarjeta arduino [1] uno.
- j. Tres resistencias de 500 ohms.
- h. Dos resistencia de 3k Ω .
- i. Tres resistencias de 1 k Ω .
- j. Diodo rectificador de referencia 1N4001.
- k. Dos capacitores cerámicos de 12 picofaradios.
- l. Dos capacitores de 10 microfaradios.
- m. Transistor TIP⁶ 122[3]
- n. Cuatro llantas de 2.5 cm de radio y 2 cm de ancho.
- ñ. Una batería de 9 V.
- o. Una lamina de madeflex, triplex o un acrílico de 14x12x0.3 cm³
- p. Un interruptor pequeño.
- q. Tres diodos led de cualquier color, o un diodo rgb de ánodo común.
- r. Base 28 pines para microcontrolador.

³Para el movimiento del vehículo.

⁴Permite la comunicación a distancia con el dispositivo, sin necesidad de un sistema físico cableado.

⁵Es transformador de voltaje de 9 voltios a 5 voltios el cual alimentara el microcontrolador atmega328P-PU, y los demás dispositivos.

⁶Control de la rapidez de giro del motor.

⁷Enlace a la pagina oficial del proyecto fritzing <http://www.fritzing.org/home/>

⁸Tenga en cuenta el sentido de la base para conectar el microcontrolador, pues las conexiones deben hacerse en los pines indicados.

⁹En la disposición prevista en el primer párrafo del diseño experimental

¹⁰Los esquemas de las figuras 1-4 y 6 pertenecen a la pagina principal del proyecto arduino[1], y modificadas en fritzing[4].

2.2 Montaje eléctrico

En esta sección se explica como deben ir conectadas las diferentes partes eléctricas que abarca el vehículo motorizado free infrarossi. Soldar primero la base de 28 pines del microcontrolador, a una tarjeta de circuito perforada, esto con el fin que el microcontrolador quede libre para programarlo y montarlo en la base nuevamente al final del proyecto. Las imágenes de los montajes se realizó en fritzing⁷. Tenga en cuenta que este proyecto se pensó para realizarlo en dos tarjetas de circuitos electrónicos, en la primer tarjeta se conecto el transformador de 9V a 5V, el oscilador, la base de 28 pines para el microcontrolador⁸, el modulo bluetooth HC-05 y el botón reset; en la segunda tarjeta se acoplan los sensores infrarrojos⁹, el control de velocidad del motor y los diodos led de colores.¹⁰.

2.2.1 Transformador de 9 a 5 Voltios

Estructura del transformador de 9 voltios a 5 voltios, se realiza con dos capacitores electrolíticos de 10 microfaradios y el transistor lm7805cv[2]. Ambos capacitores deben ir en paralelo quedando su extremo negativo conectado a tierra y su extremo positivo uno a la entrada de 9 V y el otro a la salida de 5 V del transistor, el transistor lm consta de 3 pines uno de los cuales es la entrada de +9V, el pin de la mitad es tierra o GND y el pin extremo es la salida a 5V; tal como se muestra en la figura 1.A; en la figura 1.B se coloco un enchufe para la batería.

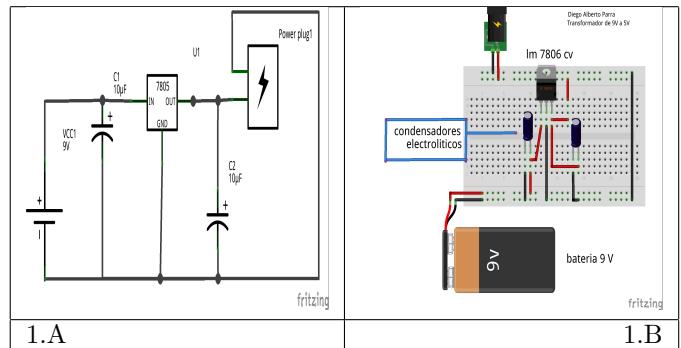


Figura 1: Figura 1.A Esquema eléctrico del transformador[2] de 9V a 5V, con un transistor lm 7805 cv, dos capacitores electrolíticos de 10 microfaradios. Figura 1.B Montaje en protoboard del circuito.

2.2.2 Modulo bluetooth

El modulo bluetooth se debe conectar de la siguiente manera: el pin 2 de la tarjeta arduino es el Rx, este va conectado al Tx del bluetooth, el pin 3 del microcontrolador es el Tx y va conectado al pin Rx del bluetooth, como se muestra en la figura 2.A y 2.B, conectar el GND del bluetooth al pin 8 o 16 del microcontrolador, ahora conectar el pin de Vcc del bluetooth al pin 7 o 14 del microcontrolador.

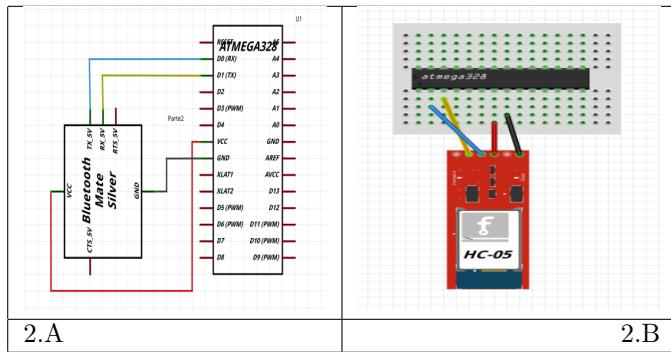


Figura 2: Figura 2.A Circuito eléctrico del bluetooth conectado al microcontrolador. Figura 2.B Montaje en protoboard, los cables negros son tierra, los cables rojos son voltaje, y los cables de colores son conexiones.

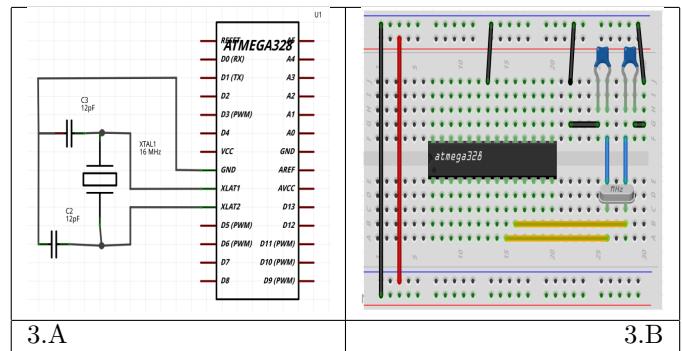
Esta es una pieza clave en el proyecto pues permite la comunicación a distancia con el microcontrolador y así de esta manera manipular el semiconductor para que avance, capture datos o simplemente suspenda todas las funciones y quede en reposo.

2.2.3 Oscilador

Es necesario colocar un oscilador de 16 mHz el cual se deja siempre en el microcontrolador, esto con el fin de ajustar los tres relojes internos que trae el integrado atmega 328 P-Pu, para esto se utiliza el cristal de 16 mHz junto con los dos condensadores cerámicos de 12 picofaradios como se muestra en las figuras 3.A y 3.B, uno de los pines del cristal se conecta al pin 9 del microcontrolador y el otro extremo del cristal al pin 10, unir un capacitor a cada extremo del cristal y estos al pin 8 y 16 del microcontrolador de tal forma que los capacitores quedan en paralelo.

¹¹Esto con el fin de limitar la corriente de saturación que llega al pin base del TIP122 que es de 2 mA a 20 mA, pues el pin PWM del integrado atmega 328 ofrece de 0 a 40 mA de salida.

¹²El cual se encargara de limitar la corriente en caso de retornar por el colector del transistor hacia tierra cuando el motor se detenga.



2.2.4 Botón reset

Se conecta un botón como se muestra en la figuras 4.A y 4.B, para reiniciar el microcontrolador, se une cualquiera de los extremos del botón al pin 1 del microcontrolador que es el pin de reset, el otro extremo del botón se conecta a una resistencia de 1 KΩ y el extremo de la resistencia a tierra.

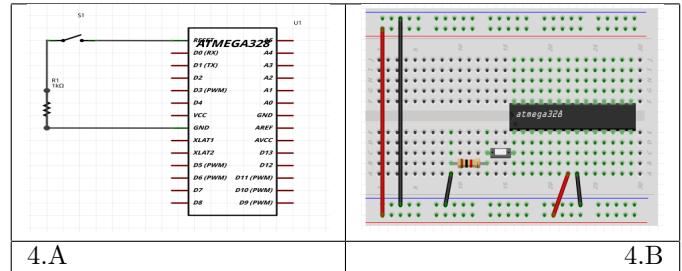


Figura 4: Figura 4.A Esquema conexión botón y microcontrolador atmega 328 P-PU. Figura 4.B Montaje en protoboard, los cables negros son tierra, los cables rojos son voltaje.

2.2.5 Control de velocidad del motor

Conectar el motor y un sistema de transmisión como se aprecia en la figura 5; se utiliza un transistor tip[3] 122, las conexiones del transistor se muestran en la figuras 6.A y 6.B. Conectar una resistencia de 1 kΩ al pin base del

transistor y el otro extremo de la resistencia¹¹ unido al pin numero 5 del integrado atmega328P-PU, luego conectar el pin del colector del tip122 a +5V, conectar un diodo¹² regulador entre el colector y uno de los extremos del motor; unir el pin emisor del transistor al extremo libre del motor y estos dos a tierra; ahora se conecta el condensador cerámico entre los dos pines del motor, como se observa en las figuras 6.A y 6.B.

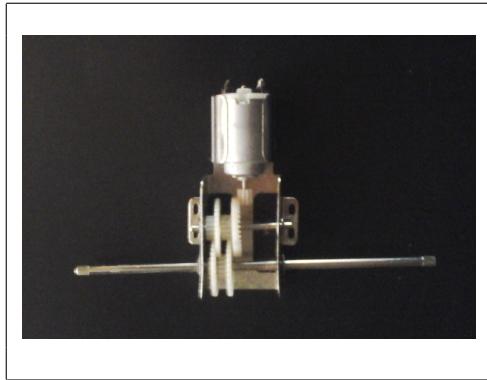


Figura 5: Motor con sistema de transmisión para el montaje.

Tenga en cuenta que solo se conecta las terminales del motor, pues el sistema motor trasmisión deben ir ajustadas con tornillos debajo de la madera o el acrílico tal como se muestra en el anexo B-4.

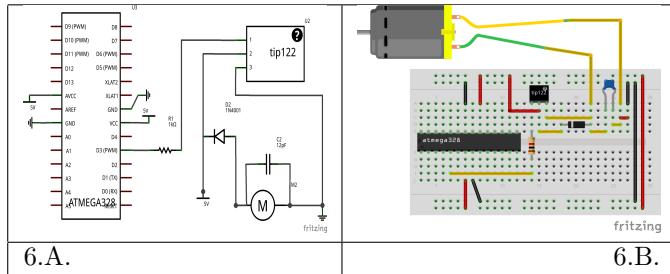


Figura 6: Figura 6.A Montaje eléctrico del motor conectado al microcontrolador, el tip 122, un diodo regulador, un capacitor cerámico de 12 pF y resistencia de 1 Komhs. Figura 6.B Montaje en protoboard, los cables negros son tierra, los cables rojos son voltaje, y los cables naranjas son conexiones.

¹¹Este pin es la entrada analógica numero cero del microcontrolador atmega.

¹²Este pin es la entrada analógica numero cinco del microcontrolador atmega.

¹⁵Salida D6 PWM.

2.2.6 Sensor receptor lateral

Las conexiones del sensor receptor lateral, el cual es un diodo led receptor de luz infrarroja; se conecta una resistencia de $3k\Omega$ al ánodo del led y el otro extremo de la resistencia a tierra, luego se conecta el cátodo del led a +5V, el pin 23¹³ del microcontrolador se conecta en un punto intermedio entre la resistencia y el ánodo del diodo led. Como se observa en la figura 7.A y 7.B.

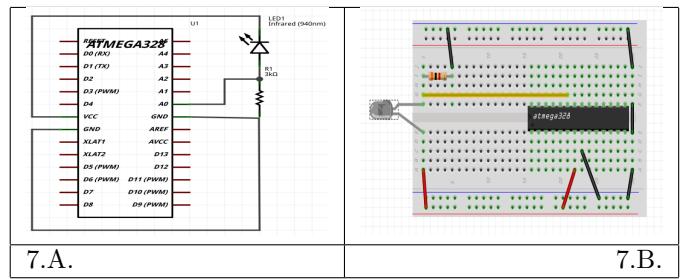


Figura 7: Figura 7.A Montaje eléctrico del sensor lateral infrarrojo conectado a tarjeta atmega 328 P-PU, con una resistencia de $3k\Omega$. Figura 7.B Montaje en protoboard, los cables negros son tierra, los cables rojos son voltaje, y los cables naranjas son conexiones.

Este sensor tiene la valiosa tarea de capturar datos del experimento que ilustrara el portento físico de la difracción en el espectro electromagnético infrarrojo. Por esta razón se destino su ubicación en el lado derecho del vehículo motorizado infrarossi como se observa en el anexo B-5.

2.2.7 Sensor frontal emisor - receptor

Las conexiones del sensor receptor frontal, se aprecia en la figura 8.A. y en la figura 8.B; conectar una resistencia de $3k\Omega$ al ánodo del led receptor y el otro extremo de la resistencia a tierra, luego unir el pin 28¹⁴ del microcontrolador en un punto intermedio entre la resistencia y el ánodo del diodo led receptor, el cátodo del diodo receptor se conecta a +5V.

Para la fuente emisora de fotones infrarrojos o radiación infrarroja, se utiliza un diodo led emisor infrarrojo, el cátodo del diodo se une a la resistencia de 500Ω y el otro extremo de la resistencia a tierra, el ánodo del diodo se conecta al pin 12¹⁵ del microcontrolador.

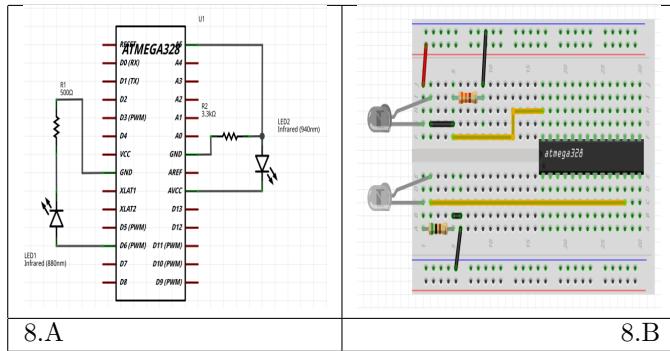


Figura 8: Figura 8.A Conexiones de los diodos receptor y emisor con microcontrolador atmega328P-PU. Figura 8.B Montaje en protoboard del sistema emisor receptor infrarrojo, junto a dos resistencias, y el microcontrolador, los cables negros son tierra, los cables rojos son voltaje, el cable naranja son conexiones.

Estos dos dispositivos eléctricos colocados en la parte frontal del vehículo tienen la preciada tarea de ilustrar dos portentos físicos como lo son la atenuación de la irradiancia con el inverso del cuadrado y la absorción debida a la interacción de la radiación electromagnética con la materia.

2.2.8 Diodo led RGB

Se utilizan tres diodos led de distintos colores o un diodo led rgb, con el fin de identificar el proceso que esta realizando el microcontrolador y sus diferentes sensores a través del titileo de los led's. Las conexiones se aprecian en los esquemas de la figura 9.A y 9.B; el ánodo del diodo rgb se conecta a $+5V$, el pin rojo del diodo rgb se conecta a una resistencia de 500Ω y el otro extremo de la resistencia se conecta al pin 18 del microcontrolador, el pin verde del diodo rgb unido a una resistencia de 500Ω y el otro extremo de la resistencia se conecta al pin 16 del microcontrolador, el pin azul del diodo se une a una resistencia de 500Ω y el otro extremo de la resistencia se conecta al pin 15 del microcontrolador.

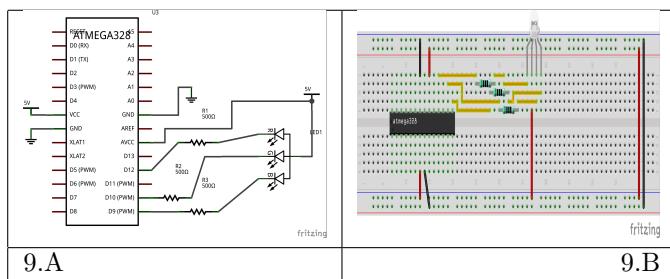


Figura 9: Figura 9.A Circuito eléctrico diodo rgb con el microcontrolador atmega 328 P-PU. Figura 9.B Esquema del diodo rgb en protoboard.

El microcontrolador atmega 328P-Pu debe quedar en una sola tarjeta junto con el transformador de voltaje, el modulo bluetooth, el botón de reinicio, el oscilador y un enchufe para la batería de 9 voltios cuadrada como se muestra en la figura 10.

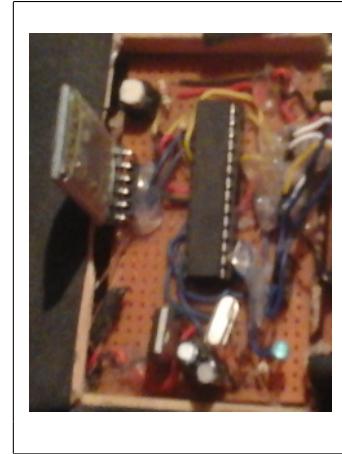


Figura 10: Tarjeta electrónica con integrado atmega 328P-PU, oscilador 16 mHz, botón reinicio y bluetooth.

Se coloca una cinta de color negro en los encapsulados epoxy de los sensores infrarrojos, esto con el fin de disminuir el ruido debido a fuentes externas de radiación infrarroja como se aprecia en la figura 11, el diodo emisor infrarrojo se deja sin cinta; ahora deben quedar estos sensores infrarrojos, el emisor infrarrojo y el regulador de rapidez del motor en una sola placa electrónica junto con el diodo RGB o diodos led de colores, asegurándose de dejar conexiones a la otra tarjeta con cables, pero sin unirlos hasta el montaje mecánico.

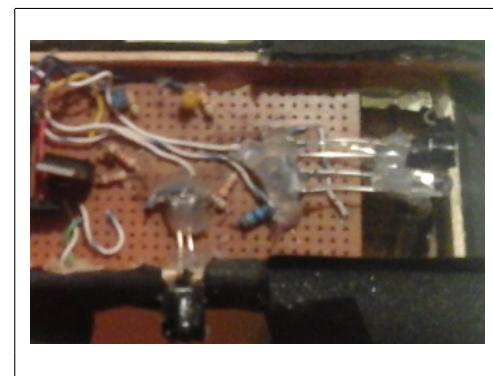


Figura 11: Tarjeta electrónica con sensores infrarrojos y emisor infrarrojo, junto con el control de rapidez del vehículo.

2.3 Montaje mecánico

Se debe cortar la tabla o acrílico con las medidas que se muestran en el anexo B.1; la placa electrónica de la figura 10 se ajusta en la parte trasera del vehículo y la placa de la figura 11 se une a la parte delantera del vehículo, después de esto se realizan las conexiones de las dos placas, tal como se observa en la figura 12.

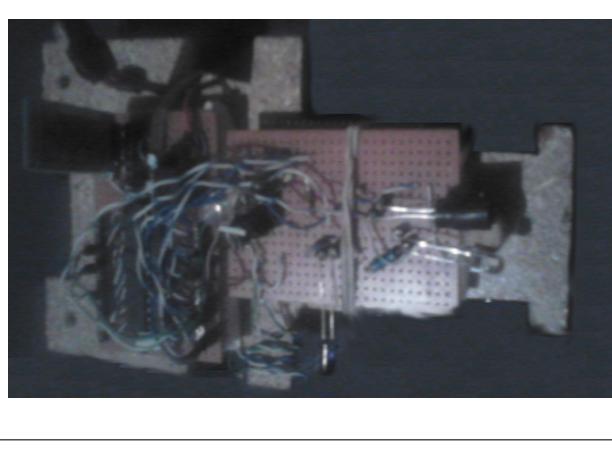


Figura 12: Placas electrónicas ajustadas al diseño final del chasis de madera.

Para terminar el montaje mecánico se coloca el dispositivo de tracción electromagnética, por la parte contraria de donde se encuentran las tarjetas electrónicas del chasis junto con las llantas, como se muestra en los anexos B.2 y B.4.

3 Software de control free infrarossi

3.1 ¿Qué es free infrarossi?

Free infrarossi es un programa creado en Colombia, en la ciudad de Bogotá; el cual fue desarrollado con software libre y en un entorno libre como lo es GNU-Linux, no es multiplataforma, fue diseñado únicamente para este sistema operativo; se vale de lenguajes de programación, como C, C++, python 2.7, bash; y de programas como arduino, octave, gnuplot, blueman-manager entre otros, fusionados en una interfaz amigable y fácil de utilizar.

Free infrarossi es un instrumento de laboratorio que ilustra la propiedad de difracción, atenuación y absorción de ondas electromagnéticas en el espectro infrarrojo, esta diseñado para ser utilizado tanto por estudiantes como docentes de

muy diversas ramas de las ciencias y la ingeniería o como una herramienta muy útil para los educadores y alumnos de media vocacional.

3.2 Licencia

Programa de control de hardware e ilustración física de las propiedades de las ondas electromagnéticas en el espectro infrarrojo.

Copyright (C) 2016-01-01 Universidad Distrital Francisco Jose, Diego Alberto Parra Garzón, Dr. Julian Andres Salamanca Bernal.

El programa free infrarossi es software libre; puedes redistribuirlo y / o modificarlo bajo los términos de la Licencia Pública General GNU publicada por la Fundación para el Software Libre; ya sea la versión 3 de la Licencia, o (a su elección) cualquier versión posterior.

Este programa se distribuye con la esperanza de que sea útil, pero SIN NINGUNA GARANTÍA; ni siquiera la garantía implícita de COMERCIALIZACIÓN o IDONEIDAD PARA UN PROPÓSITO PARTICULAR. Vea la Licencia Pública General GNU para más detalles.

Debería haber recibido una copia de la Licencia Pública General de GNU junto con este programa; si no, escriba a la Free Software Foundation, Inc., 51 Franklin Street, Quinto Piso, Boston, MA 02110-1301 EE.UU..

Si usted hace alguna modificación en esta aplicación, deberá siempre mencionar el autor original de la misma.

3.3 Instalación

La instalación de este software es relativamente sencilla, el proceso de instalación es el mismo para distribuciones basadas en Debian¹⁶ se explicara paso a paso el proceso de instalación:

- a. Abrir una terminal¹⁷ y escribir en ella lo siguiente sin comillas "sudo su" y luego oprimir la tecla enter.
- b. Escribir la contraseña de administrador y presione enter; tenga en cuenta que la terminal no muestra la contraseña.
- c. Escriba en la terminal sin comillas "aptitude install -y git", presione enter.

¹⁶Página oficial proyecto Debian <https://www.debian.org/>

¹⁷Enlace que explica ese procedimiento: <http://www.comoinstalarlinux.com/como-abrir-una-terminal-en-ubuntu-linux-mint-centos-debian/>

- d. Escriba en la terminal sin comillas "cd Documentos" presione enter.
- e. Escriba en la terminal sin comillas "git clone https://github.com/Diego-debian/Free-infrarossi", presione enter.
- f. Escriba en la terminal sin comillas "chmod +777 Free-infrarossi", presione la tecla enter.
- g. Cierre la terminal y diríjase al navegador de archivos o gestor de archivos y ábralo.
- h. Diríjase a la carpeta Documentos/Free-infrarossi/install.
- j. Hacer click derecho con el mouse en el archivo instalador.py, dar click izquierdo en propiedades; en la pestaña de general debe decir abrir archivo con python 2.7 y en la pestaña permisos debe estar seleccionada la casilla permitir ejecutar este archivo como programa, de no ser así cambie las opciones y déjelas como se menciono antes.
- k. Cierre la ventana y abra el archivo INSTALADOR.py haciendo doble click izquierdo sobre este.
- l. Escriba su contraseña de administrador y presione enter.
- m. Una vez abierto el instalador escriba 1 y presione enter.
- n. Escriba nuevamente 1 y enter.
- ñ. Una vez finalizada la instalación se aconseja reinicie su pc.

3.4 Primer uso free infrarossi

Una vez este reiniciado el computador, lo primero es abrir una terminal del S.O. escribir en la terminal sin comillas '*infrarossi*' y oprimir la tecla enter, escribir la clave de administrador y se abrirá la ventana del software free infrarossi, como se aprecia en la figura 13.



Figura 13: Ventana del software free infrarossi

3.5 Carga de firmware en integrado atmega 328 P-PU

En la ventana del programa free infrarossi, en la parte inferior derecha hay tres botones, oprimir el botón de firmware y conectar la tarjeta micro controladora arduino uno al pc; acto seguido oprimir el botón continuar y esperar que cargue el firmware en la tarjeta, una vez hecho esto retirar el micro controlador de la tarjeta y colocarlo en el montaje del vehículo como se observa en la figura 14.



Figura 14: Ventana de instalación del firmware, que ofrece el software free infrarossi, para el vehículo motorizado infrarossi.

3.6 Uso avanzado de free infrarossi

Tanto el vehículo infrarossi y el software de control se diseñaron específicamente para ilustrar tres propiedades de la radiación electromagnética en el espectro infrarrojo, por esta razón el software cuenta con un botón de encendido o por su nombre en inglés *on*, al hacer click sobre este, el programa envía la solicitud de emparejamiento al vehículo motorizado infrarossi, una vez hecho el protocolo de reconocimiento y de emparejarse ambos dispositivos; se despliega un tercer menú en la ventana del software como se muestra en la figura 15.



Figura 15: Ventana del software de control free infrarossi, con bluetooth encendido y el menú para los portentos físicos.

Es importante aclarar que el firmware del modulo motorizado free infrarrossi esta diseñado para ordenar un voltaje de 3V al motor desde el microcontrolador, de esta manera circula una corriente de $12mA$ durante un tiempo de $37 ms$ por el embobinado del motor, obteniendo un avance de $2mm$ con un margen de error del 9%; después de esto el motor no recibe más corriente por lo que se detiene y el microcontrolador le ordena a los sensores infrarrojos que comiencen su trabajo, según el montaje experimental que se este realizando.

3.6.1 Botón difracción

El montaje experimental para la demostración del fenómeno de difracción en el espectro infrarrojo se encuentra explicado en el anexo C.1; una vez esta lista el montaje de laboratorio para la captura de datos del portento de la difracción por el vehículo motorizado free infrarossi, oprimir el botón difracción en la ventana del software de control, inmediatamente el software de control empezara a capturar los datos del experimento y los almacena en el ordenador para su respectivo análisis, este proceso se muestra en la figura 16.

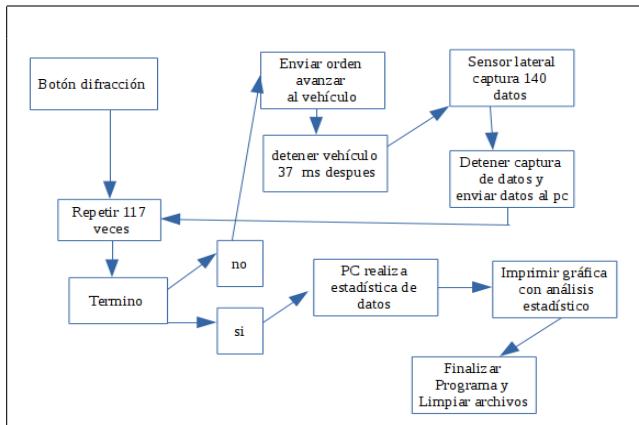


Figura 16: Diagrama de control del software y hardware en el experimento de difracción.

Una vez terminado el proceso de captura y análisis de datos el software de control llama a la librería matplotlib de python 2.7 para crear la gráfica de los datos con su respectivo análisis y el error en las medidas del laboratorio.

3.6.2 Botón atenuación

El montaje experimental para la demostración del fenómeno de atenuación en el espectro infrarrojo se encuentra explicado en el anexo C.2; una vez esta lista el montaje de laboratorio para la captura de datos del fenómeno de la absorción por el vehículo motorizado free infrarossi, oprimir el botón atenuación en la ventana del software de control, inmediatamente el software de control empezara a capturar los datos del experimento y los almacena en el ordenador para su respectivo análisis, este proceso se muestra en la figura 17.

la atenuación por el vehículo motorizado free infrarossi, oprimir el botón atenuación en la ventana del software de control, inmediatamente el software de control empezara a capturar los datos del experimento y los almacena en el ordenador para su respectivo análisis, este proceso se muestra en la figura 17.

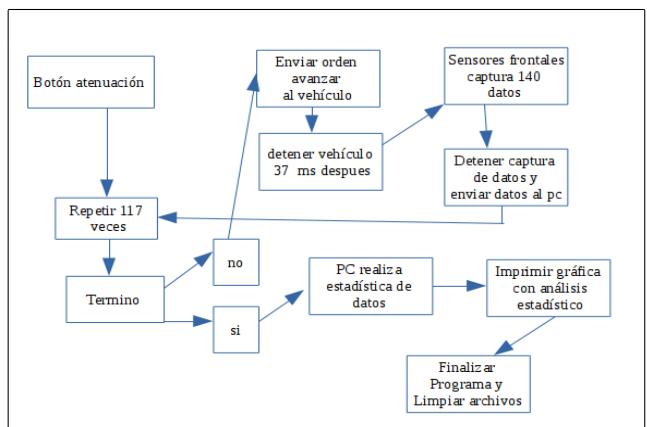


Figura 17: Diagrama de control del software y hardware en el experimento de atenuación.

Una vez terminado el proceso de captura y análisis de datos el software de control llama a la librería matplotlib de python 2.7 para crear la gráfica de los datos con su respectivo análisis y el error en las medidas del laboratorio.

3.6.3 Botón absorción

El montaje experimental para la demostración del fenómeno de absorción en el espectro infrarrojo se encuentra explicado en el anexo C.3; una vez esta lista el montaje de laboratorio para la captura de datos del fenómeno de la absorción por el vehículo motorizado free infrarossi, oprimir el botón absorción en la ventana del software de control, inmediatamente el software de control empezara a capturar los datos del experimento y los almacena en el ordenador para su respectivo análisis, este proceso se muestra en la figura 18.

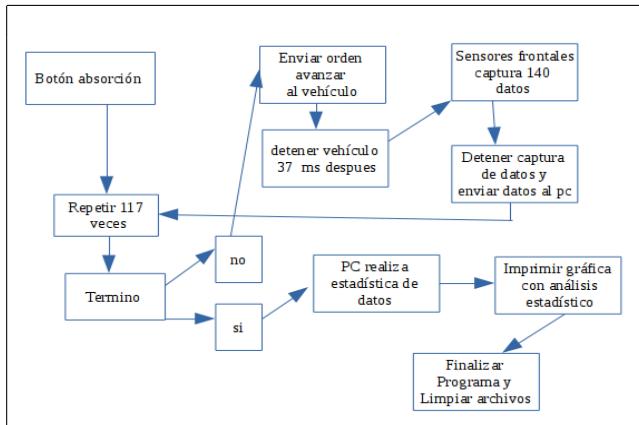


Figura 18: Diagrama de control del software y hardware en el experimento de absorción.

Una vez terminado el proceso de captura y análisis de datos el software de control llama a la librería matplotlib de python 2.7 para crear la gráfica de los datos con su respectivo análisis y el error en las medidas del laboratorio.

4 Conclusiones

- * Las tecnologías libres favorecen la enseñanza y aprendizaje de las ciencias.
- * Con la ayuda del software y hardware libre, se construye el diseño de un vehículo motorizado y su respectivo software de control, el cual es económico, preciso y capaz de demostrar tres portentos físicos de la física de las ondas electromagnéticas.
- * La física que se encuentra de manera implícita y explícita en este trabajo hace que el instrumento motorizado infrarrojo y su software de control free infrarrojo sea un herramienta indispensable en el aula de clase, así por profesionales en las ramas de las ciencias, como de los educandos, también es un modelo

didáctico pedagógico que contribuye a la enseñanza en ciencias de los estudiantes de media vocacional grado once de diferentes instituciones educativas.

- * Utilizar los fenómenos de transporte de energía para la comunicación vía bluetooth, es una característica del proyecto que favorece su tamaño y la movilidad tanto física - mecánica del vehículo motorizado, como el procesamiento de esta información por el ordenador, facilitando estos procesos de análisis en el experimento del investigador.

Referencias

- [1] Monk, S. (2013). 30 Arduino projects for the evil genius. McGraw-Hill Professional.
- [2] Semiconductor, F. (2012). LM7805 Data Sheet. [Online]. Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/LM7805.pdf>
- [3] Semiconductor, F. (2008). Tip120/tip121/tip122 npn epitaxial darlington transistor. TIP120 datasheet, Oct. [Online]. Disponible en: <http://pdf.datasheetcatalog.net/datasheet/fairchild/TIP122.pdf>.
- [4] Knörig, A., Wettach, R., & Cohen, J. (2009, February). Fritzing: a tool for advancing electronic prototyping for designers. In Proceedings of the 3rd International Conference on Tangible and Embedded Interaction. ACM.
- [5] Gift, N., & Jones, J. M. (2008). Python for Unix and Linux system administration. "O'Reilly Media, Inc."
- [6] Alexander, C. K., Sadiku, M. N., Bermúdez, A. V., & Pedraza, C. R. C. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos. McGraw-Hill.

Anexos

A Esquemas

A.1 Montaje final protoboard

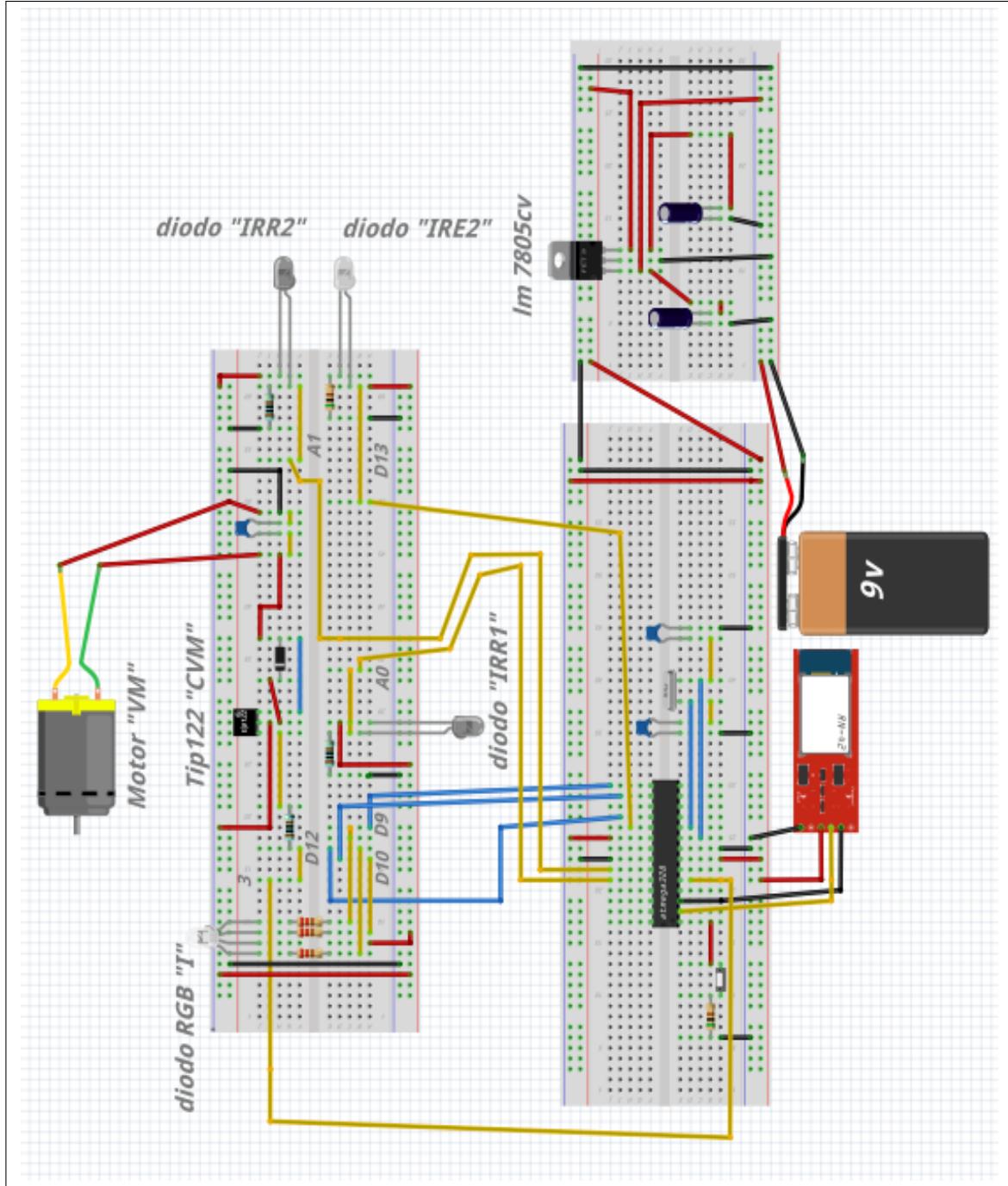


Figura 19: Montaje eléctrico final.

A.2 Circuito eléctrico final.

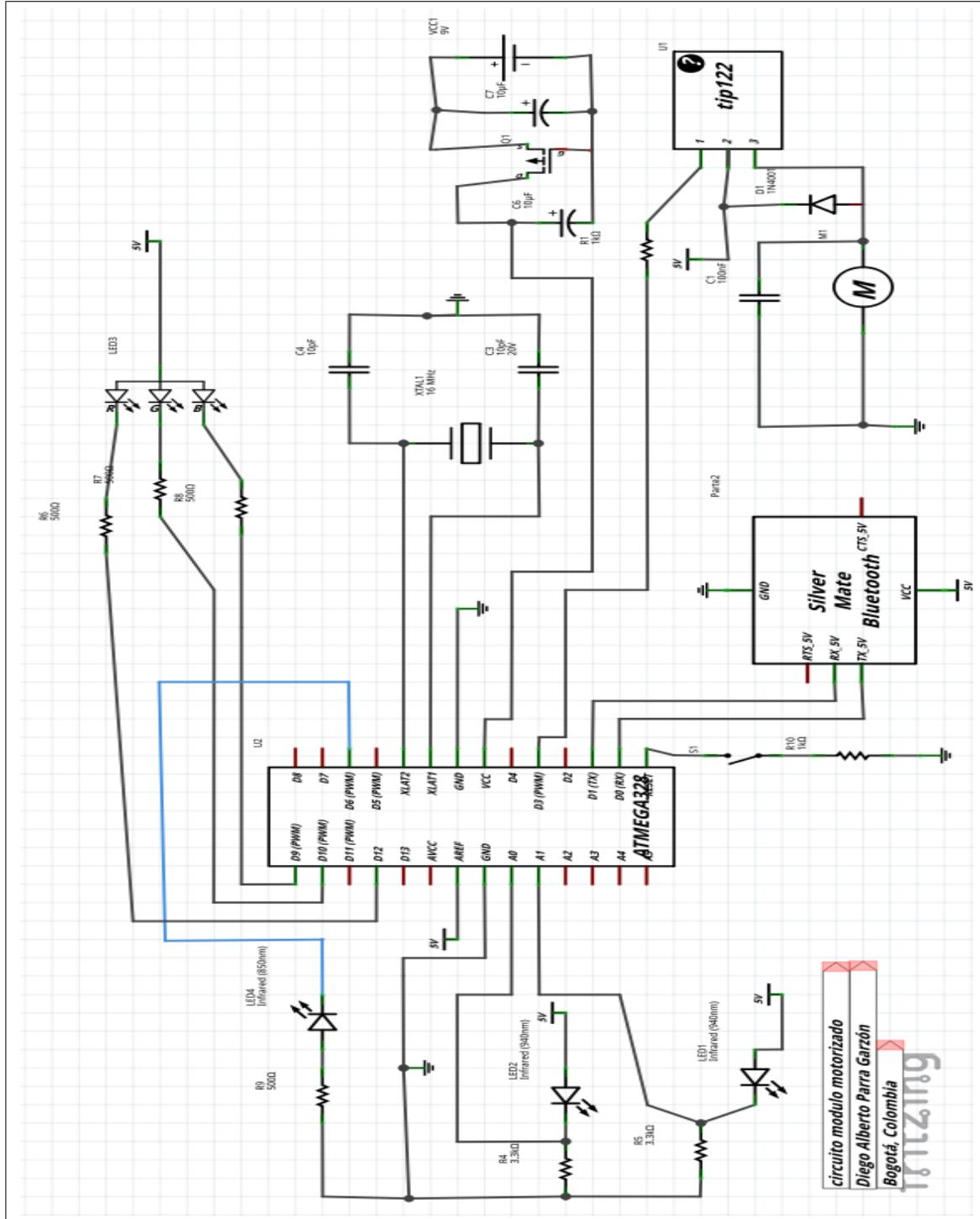


Figura 20: Circuito eléctrico del proyecto.

B Chasis

B.1 Dimensiones del chasis

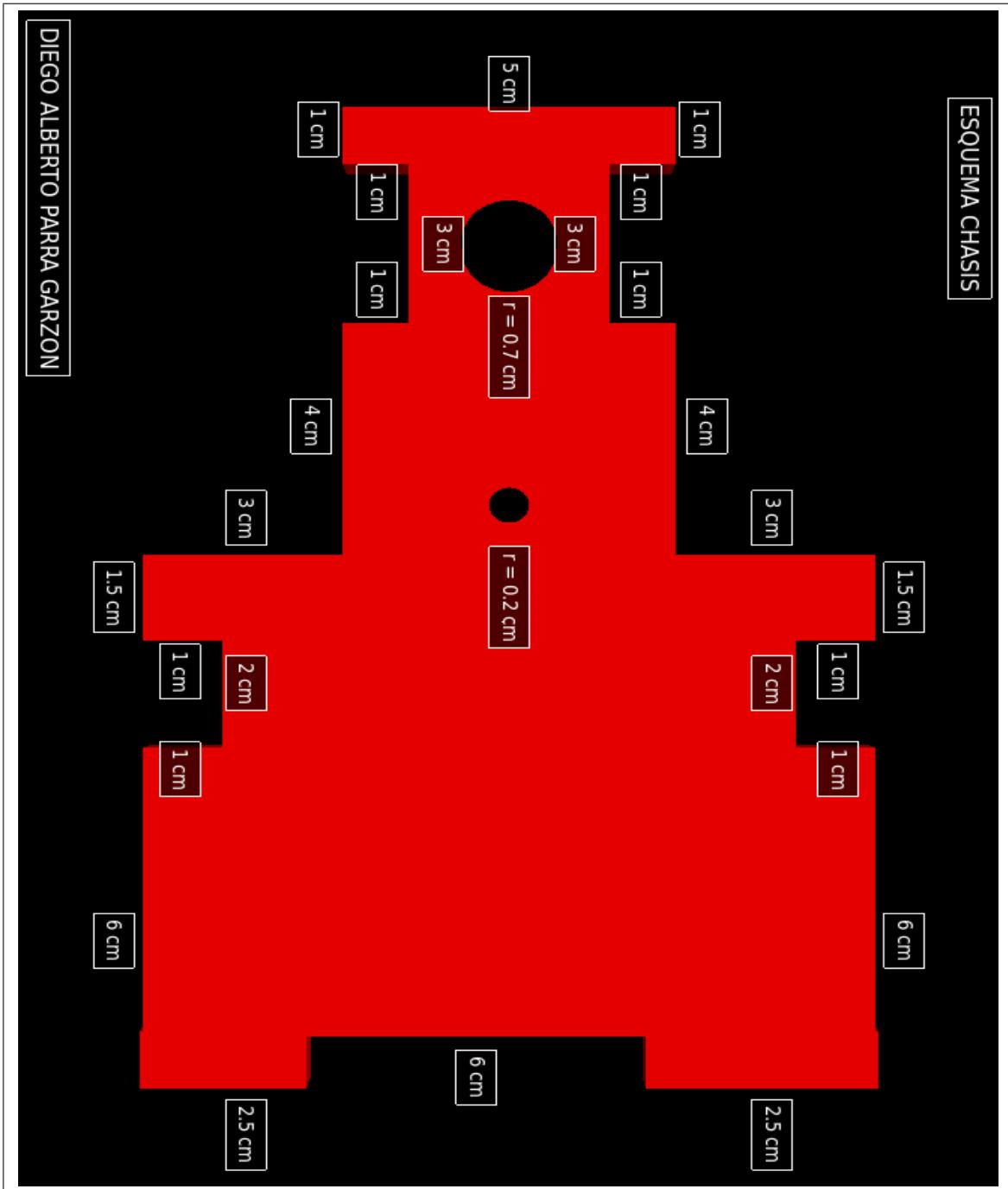


Figura 21: Dimensiones del chasis o base donde reposara el circuito eléctrico, el sistema de transmisión y demás elementos del vehiculo. Figura modelada en python visual.

B.2 Montaje simulado vista inferior

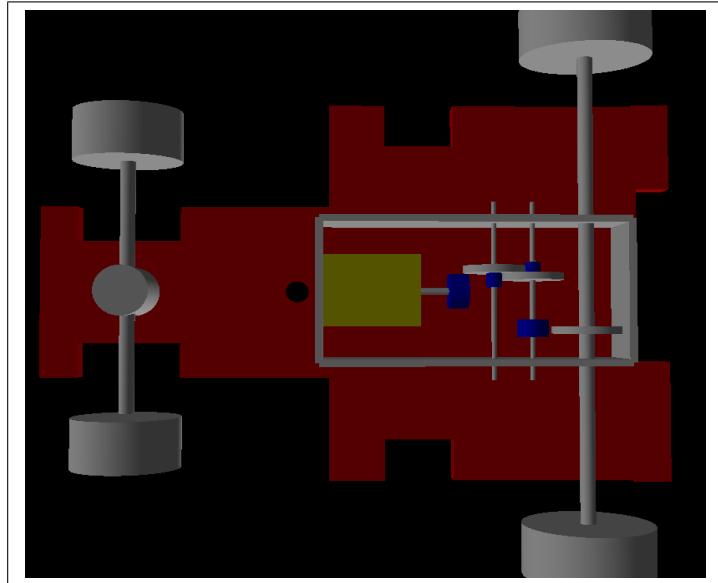


Figura 22: Vista inferior del montaje del vehículo con la transmisión y el eje delantero, sin la parte eléctrica. Figura modelada en python visual.

B.3 Montaje simulado vista superior

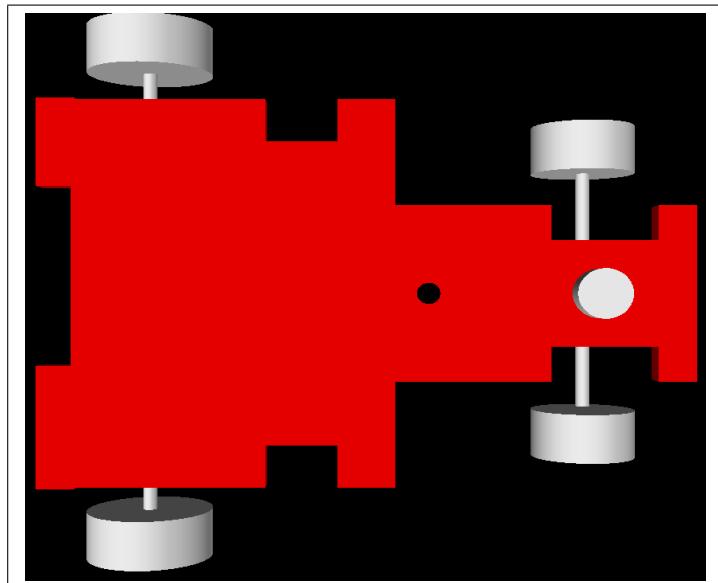


Figura 23: Vista superior del montaje del vehículo con la transmisión y el eje delantero, sin la parte eléctrica. Figura modelada en python visual.

B.4 Montaje real vista inferior

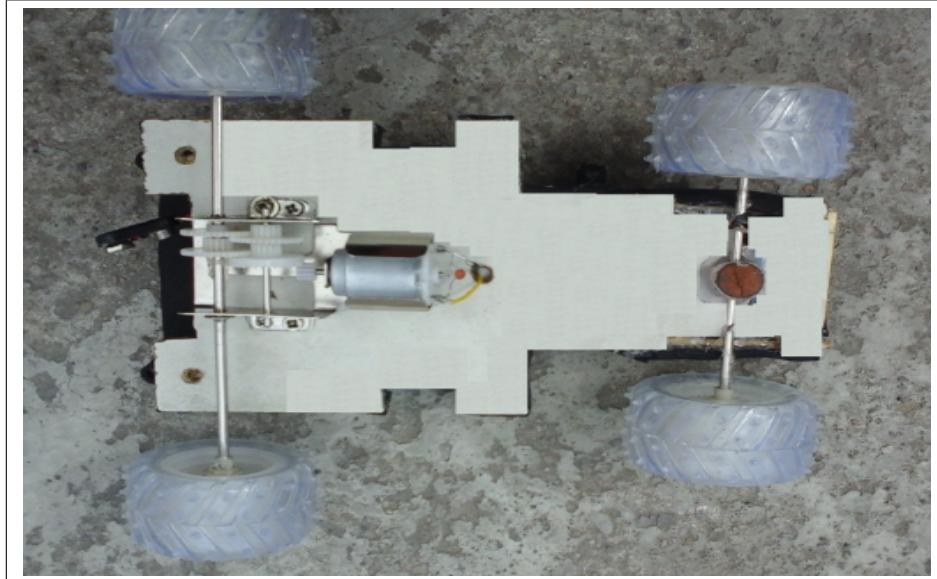


Figura 24: Vista inferior del montaje.

B.5 Montaje real vista superior

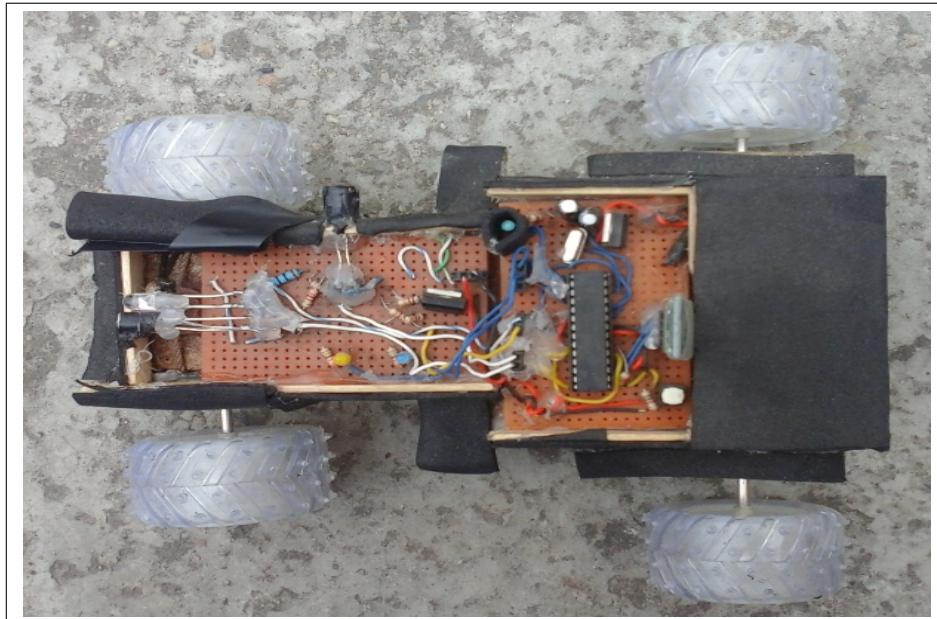


Figura 25: Vista superior del montaje.

B.6 Montaje final

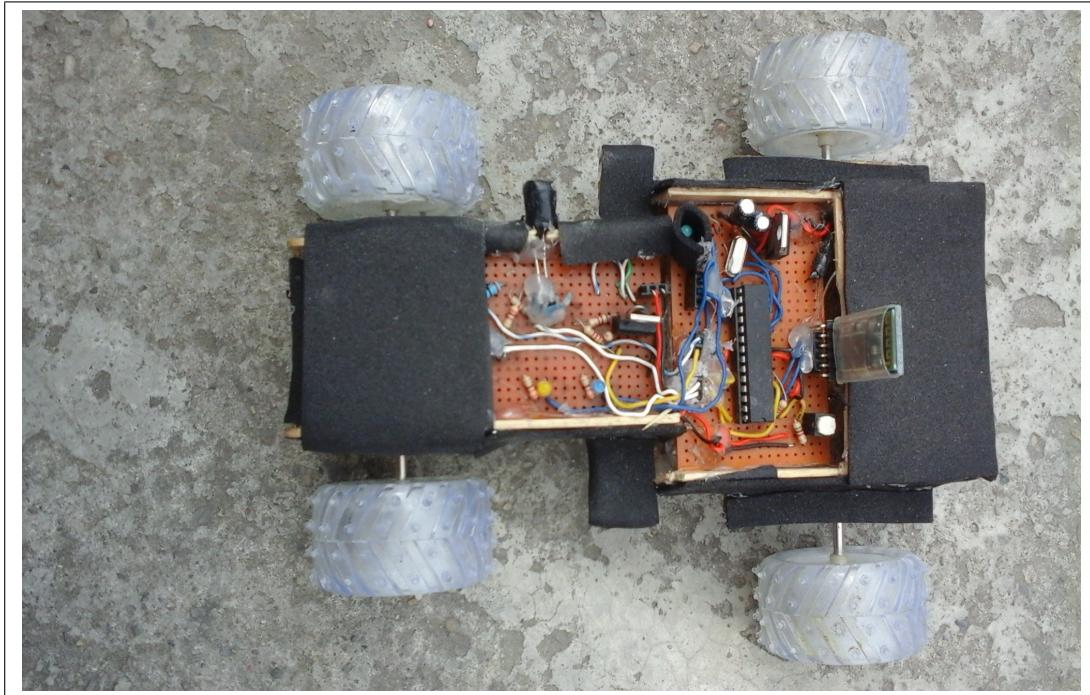


Figura 26: Vista superior del montaje.

C Articulos

C.1 Articulo difracción

Este articulo comienza en la pagina que sigue.

Calculo de la longitud de onda de la radiación de un diodo led infrarrojo, utilizando el modulo motorizado infrarossi y su software de control Free infrarossi

Diego Parra,* Julian Salamanca†

Universidad Distrital, Calle 3 No 26A-40 Bogotá-Colombia
Grupo de Física e Informática “FISINFOR”

March 6, 2016

Abstract

In this paper calculated the wavelength emitted by an infrared LED diode using a diffraction grating, infrarossi motorized module and control software free infrarossi; a GNU-Linux environment, highlighting the functionality of this instrument in illustrating the diffraction property of electromagnetic waves and the duality wave - corpuscle.

Keywords: Motor module, infrared sensors, microcontroller module bluetooth, electromagnetic wave, diffraction.

Resumen

El presente trabajo calcula la longitud de onda emitida por un diodo led infrarrojo, utilizando una rejilla de difracción, el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi; en un entorno GNU-linux, resaltando la funcionalidad de este instrumento en la ilustración de la difracción como propiedad de las ondas electromagnéticas y su dualidad onda – corpúsculo.

Descriptores: Modulo motorizado, sensores infrarrojos, microcontrolador, modulo bluetooth, ondas electromagnéticas, difracción.

1 Introducción

Los fenómenos de las ondas siempre han fascinado nuestros pensamientos y tratamos de acercarnos a estos fenómenos para tratar de entenderlos, es allí donde la física con ayuda de la matemática muestran su majestuosidad, al explicar de manera muy detallada estos fenómenos de transporte; la difracción es una de estas propiedades, la cual está muy presente en la vida diaria y con la ayuda del modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi, se ilustra este fenómeno físico y se calcula la longitud de onda propia producida por un diodo infrarrojo.

“Un cuerpo opaco colocado a medio camino entre una pantalla y una fuente puntual proyecta una sombra complicada hecha en regiones claras y oscuras muy diferentes de las que podría esperarse de los principios básicos de la óptica geométrica. El trabajo de Francesco Grimaldi en el siglo XVII fue el primer estudio detallado que

se publicó sobre esta desviación de la luz de su propagación rectilínea. A la que denomino difracción. El efecto es una característica general de los fenómenos ondulatorios que ocurren donde quiera que una parte de un frente de onda ya sea sonido, onda material o luz, esté obstruida de alguna manera. Si al encontrar un obstáculo transparente u opaco se altera la amplitud o la fase de una región del frente de onda, esto produciría difracción. Los varios segmentos del frente de onda que se propagan más allá del obstáculo interfieren, produciendo aquella distribución de densidad de energía particular denominada figura de difracción. No hay distinción física significativa entre interferencia y difracción. Sin embargo, se ha vuelto algo común, aunque no siempre apropiado, hablar de interferencia cuando se analiza la superposición de solamente unas pocas ondas y de difracción cuando se trata de un gran número de ondas.

La red de difracción es un conjunto repetitivo de elementos difractores de una onda emergente, bien sean aberturas u

*diegoestudianteud1@gmail.com

†jasalamanca@udistrital.edu.co

obstáculos, que tienen el efecto de producir alteraciones periódicas en la fase, amplitud o ambas. Uno de los más simples de tales conjuntos es la configuración de rendijas múltiples. Parece que fue inventado por el astrónomo americano David Rittenhouse hacia 1785. Algunos años más tarde Joseph Von Fraunhofer redescubrió, por su cuenta, este principio y siguió aportando un buen número de contribuciones importantes tanto a la teoría como a la tecnología de redes.

Los primeros dispositivos eran en realidad conjuntos de rendijas múltiples, que consistían por lo general en un retículo de alambre muy fino o hilo enrollado y extendido entre dos tornillos paralelos que servían como espaciadores. Al pasar a través de semejante sistema, un frente de onda se encuentra con regiones opacas y transparentes alternadas, sufriendo una modulación en amplitud. Así mismo, una configuración múltiple de rendijas se denomina red de transmisión de amplitud. Otra forma más corriente de red de transmisión se hace rayando o raspando unas hendiduras paralelas en la superficie de una lámina de cristal clara y plana. Cada raspadura sirve como fuente de luz esparcida, formando juntas un conjunto regular de fuentes lineales paralelas. Cuando la red es totalmente transparente, de tal manera que la modulación en amplitud sea despreciable, las variaciones regulares del espesor óptico a través del retículo dan una modulación en fase y tenemos lo que se denomina red de transmisión de fase. En la representación de Huygens -Fresnel podemos visualizar los trenes de onda como radiados con diferentes fases sobre la superficie de la red. Un frente de onda emergente contiene, por consiguiente, unas variaciones periódicas en su forma más que en su amplitud lo cual, a su vez, equivale a una distribución angular de las ondas constitutivas. "[1]

2 Marco teórico

Los fotones producidos por el diodo emisor de la fuente emisora de radiación infrarroja antes de pasar estos por la rejilla de difracción se dan debido a que "en los semiconductores, con estructura compleja de las bandas energéticas, son posibles las transiciones indirectas de los electrones de la banda de conducción a la de valencia acompañadas de la emisión de un fotón. En este caso la recombinación del electrón libre con el hueco se desarrolla con la aparición de un fonón, lo que asegura la conservación del cuasi impulso. Lo más probable es que el fonón sea emitido. Si en el semiconductor se desarrollan procesos de recombinación entre bandas tanto directa como indirectas,

en el espectro de radiación se observan dos bandas de luminiscencia.

En la banda prohibida de los semiconductores reales existe una gran cantidad de estados localizados, que están ligados a los átomos de impureza, defectos de la estructura, infracciones de la periodicidad de la estructura en la superficie, etc. Estos estados localizados desempeñan un papel importante en los procesos de luminiscencia.

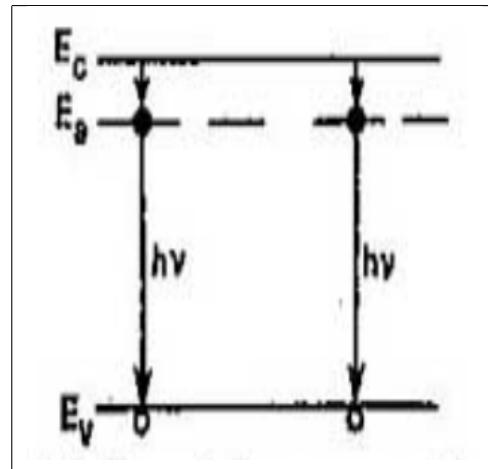


Figura 1: Transiciones con radiación entre una banda y los estados de impureza.

Las transiciones de los electrones de la banda de conducción a los niveles de los pequeños donadores (o de los huecos de la banda de valencia a los niveles de los pequeños aceptores), que hacen que estos últimos se neutralicen, pueden ser con radiación.. En este caso es de esperar la aparición de luminosidad en la región infrarroja remota del espectro. Pero los cálculos muestran que en estas transiciones lo más probable es que sea emitido un fonón y no un fotón, es decir, que el proceso se desarrolla sin radiación. La recombinación con radiación se produce por lo general como viene mostrado en la figura 1. Primero un electrón de la banda de conducción es capturado por un nivel local situado un poco más abajo que Ec¹, y después se efectúa la recombinación de este electrón localizado con un hueco de la banda de valencia, la cual va acompañada de la emisión de un fotón. El electrón puede también realizar una transición con radiación de la banda de conducción y después recombinarse con un hueco. El estudio de los espectros de luminiscencia relacionados a diversas impurezas y defectos permite obtener información sobre estas infracciones de la estructura.

¹Ec es el nivel de energía de conducción.

Durante la absorción de la luz puede surgir en los semiconductores pares electrón – hueco ligados por la atracción coulombiana, es decir, excitones. Si uno de estos pares se aniquila, se produce la emisión de un fotón. La energía de esta radiación es:

$$h\nu = E_g - E, \quad (1)$$

donde E es la energía de enlace del excitón.

Como el excitón puede tener estados excitados, la radiación dada a la recombinación excitónica puede consistir en una serie de rayas estrechas correspondientes a las transiciones desde los estados excitados.” [2]

Una vez producido los fotones infrarrojos con energía $h\nu$ se hacen pasar por una red de difracción de 100 líneas por milímetro, a lo que esta radiación en vez de comportarse como un corpúsculo como lo venia haciendo, se comporta como una onda.

“Al reflejarse en esta clase de red, la luz esparcida por las varias características periódicas de la superficie llegarán a un punto P con una relación de fase definida. El patrón de interferencia correspondiente engendrado después de la reflexión es muy similar al que se produce por transmisión. Las redes diseñadas específicamente para funcionar de esta manera se denominan redes de reflexión de fase. Tradicionalmente, las redes de esta clase son rayadas sobre películas finas de aluminio que han sido evaporadas sobre bloques de vidrio ópticamente planos. Puesto que el aluminio es bastante blando, hay menos desgaste de la herramienta de rayar de diamante, siendo también mejor reflector en la región ultravioleta.

Si miramos perpendicularmente a través de una red de transmisión hacia una fuente lineal paralela distante, los ojos servirían como lente de enfoque para la distribución de difracción.

Como un puente simple aunque lógico entre los estudios de la interferencia y de la difracción se considera un conjunto de N osciladores puntuales coherentes (o antenas emisoras), todos ellos idénticos incluso en su polarización. Por ahora, hay que suponer que los osciladores no tengan diferencia de fase intrínseca,² es decir, cada uno tiene el mismo ángulo de fase inicial. Todos los rayos son casi paralelos, encontrándose en un punto P muy distante. Si la extensión espacial del conjunto es comparativamente pequeña, las amplitudes de onda individuales que lleguen a P serán

²Este es el caso ideal, el cual en el experimento se da el caso que los fotones infrarrojos producidos por el diodo led infrarrojo no están en fase

esencialmente iguales, habiendo recorrido casi las mismas distancias, esto es:

$$E_0(r_1) = E_0(r_2) = \dots = E_0(r_n) = E_0(r) \quad (2)$$

La suma de los trenes de onda esféricos interferentes produce un campo eléctrico en P proporcionado por la parte real de

$$\vec{E} = E_0(r)e^{i(kr_1 - \omega t)} + E_0(r)e^{i(kr_2 - \omega t)} + \dots + E_0(r)e^{i(kr_N - \omega t)} \quad (3)$$

Por tanto ahora

$$\vec{E} = E_0(r)e^{(-i\omega t)}e^{ikr_1} \times [1 + e^{ik(r_2 - r_1)} + e^{ik(r_3 - r_1)} + \dots + e^{ik(r_N - r_1)}] \quad (4)$$

La diferencia de fases entre fuentes adyacentes se obtiene de la expresión $\delta = k_0\Lambda$, y puesto que $\Lambda = n dsin(\theta)$, en un medio con índice n, $\delta = kdsin(\theta)$, de esto se deduce que $\delta = k(r_2 - r_1)$, $2\delta = k(r_3 - r_1)$, etc. Entonces el campo de P puede escribirse como:

$$\vec{E} = E_0(r)e^{(-i\omega t)}e^{ikr_1} \times [1 + (e^{i\delta}) + (e^{i\delta})^2 + (e^{i\delta})^3 + \dots + (e^{i\delta})^{N-1}] \quad (5)$$

La serie geométrica entre paréntesis tiene el valor:

$$(e^{i\delta N} - 1)/(e^{i\delta} - 1)$$

que puede ordenarse así:

$$\frac{e^{i\delta N/2}[e^{i\delta N/2} - e^{-i\delta N/2}]}{e^{i\delta/2}[e^{i\delta/2} - e^{-i\delta/2}]} \quad (6)$$

o de manera equivalente

$$e^{i(N-1)\delta/2} * \left(\frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} \right) \quad (7)$$

Entonces el campo se transforma en:

$$\vec{E} = E_0(r)e^{(-i\omega t)}e^{i[kr_1 + (N-1)\delta/2]} * \left(\frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} \right) \quad (8)$$

Si se define R como la distancia desde el centro de la línea de los osciladores hasta el punto P, es decir:

$$R = \frac{1}{2}(N-1)dsin(\theta) + r_1 \quad (9)$$

Entonces la ecuación 8 se convierte en:

$$\vec{E} = E_0(r)e^{i(kR - \omega t)} \left(\frac{\sin(N\delta/2)}{\sin(\delta/2)} \right) \quad (10)$$

Finalmente, la distribución de densidad de flujo dentro de la distribución de difracción debida a N fuentes puntuales

distantes, idénticas y coherentes en una disposición lineal, es proporcional a $EE^*/2$ para E compleja o

$$I = I_0 \frac{\sin^2(N\delta/2)}{\sin^2(\delta/2)} \quad (11)$$

donde I_0 es la densidad de flujo que saliendo desde cualquier fuente puntual llegue a P. La dependencia funcional de I con θ queda más clara en la forma

$$I = I_0 \frac{\sin^2[(Nk\delta/2)\sin(\theta)]}{\sin^2[(k\delta/2)\sin(\theta)]} \quad (12)$$

El término $\sin^2[(Nk\delta/2)\sin(\theta)]$ se somete a unas fluctuaciones rápidas, mientras que las fluctuaciones que la modula, $\sin^{-2}[(k\delta/2)\sin(\theta)]$, varía de manera relativamente lenta. La expresión combinada da lugar a una serie de picos principales agudos separados por picos pequeños complementarios.

La ecuación que describe el fenómeno físico se denomina ecuación de red para incidencia normal.

$$d * \sin(\theta_m) = m\lambda \quad (13)$$

Los valores de m especifican el orden de diversos máximos principales. Para una fuente que tenga un espectro continuo ancho, la imagen de orden cero, $m = 0$, corresponde a la imagen blanca de la fuente no desviada $\theta_0 = 0$. La ecuación de red depende de λ y así, para cualquier valor de $m \neq 0$, las distintas imágenes coloreadas de la fuente correspondientes a ángulos ligeramente diferentes (θ_m), se dispersa en un espectro continuo. Las regiones ocupadas por los débiles máximos secundarios aparecerán como bandas aparentemente desprovistas de luz. El espectro de primer orden $m = \pm 1$ aparece a cada lado de $\theta = 0$ y es seguido, junto con intervalos alternados de oscuridad, por los espectros de orden superior, $m = \pm 1, \pm 2$, etc. "[1]

Ahora se produce un patrón de difracción que alcanza al detector infrarrojo del módulo motorizado Free infrarossi, el cual avanza en línea recta a 45 centímetros de la fuente emisora de fotones infrarrojos, perpendicular a la incidencia de los patrones de difracción.

El detector del módulo motorizado Free infrarossi es un diodo receptor infrarrojo; "cuando un haz de radiación monocromática u homogénea traspasa una sustancia, debido a la reflexión y absorción su intensidad disminuye. Supongamos que la fracción de energía reflejada en el extremo del cuerpo sea R , magnitud que lleva el nombre

de factor de reflexión. Si la intensidad de la luz incidente es I_0 y la reflejada I_R , entonces

$$R = \frac{I_R}{I_0} \quad (14)$$

La dependencia del factor de reflexión respecto a la frecuencia $R(\omega)$ o de la longitud de onda $R(\lambda)$ se llama espectro de reflexión. Designemos por I la intensidad de la luz que incide en la capa dx , cómo se muestra en la figura 2. En tal caso, debido a la absorción de la luz en esta capa la intensidad de radiación se reduce en la magnitud dI . La cantidad de energía absorbida dI es proporcional a la cantidad de energía incidente en la capa y el espesor de la capa absorbente:

$$-dI = \alpha I dx \quad (15)$$

El coeficiente de proporcionalidad α , que expresa la cantidad de energía absorbida del haz de intensidad unidad por la capa de espesor unidad, se llama factor de absorción.

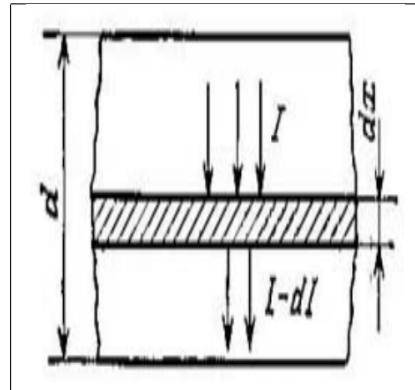


Figura 2: Absorción de la luz por un semiconductor.

Integrando la ecuación 15 sin tener en cuenta la reflexión

$$\int_{I_0}^I \frac{dI}{I} = - \int_0^d \alpha dx \quad (16)$$

se obtiene la expresión

$$I = I_0 e^{-\alpha d} \quad (17)$$

conocida con el nombre de ley de Buger – Lambert. La magnitud α es una característica del medio absorbente y depende la longitud de onda de la radiación. La dependencia del factor de absorción respecto de la frecuencia $\alpha(\omega)$ o de la longitud de onda $\alpha(\lambda)$ se llama espectro de absorción de la sustancia.

Suponiendo que se tiene N centros de absorción. Designamos por σ la probabilidad de absorción de un haz monofotón por un centro de absorción de un fotón en la unidad de tiempo. La sección eficaz σ depende de la energía

del fotón y de la naturaleza de los centros absorbentes. De acuerdo con la ecuación $(\sigma N)^{-1}$ que es la longitud media de recorrido libre de un fotón l_f en un medio absorbente, es decir,

$$l_f = \frac{1}{\sigma N} \quad (18)$$

Mientras que el factor de absorción

$$\alpha = \frac{1}{l_f} \quad (19)$$

es la probabilidad de absorción de un fotón en la unidad de longitud. Suponiendo que en el semiconductor existen centros de absorción de diferente naturaleza. Si N_l centros de absorción se caracterizan por la sección eficaz σ_i , entonces

$$\alpha_i(\omega) = \sigma_i N_l \quad (20)$$

el factor de absorción total de la sustancia α es la suma de los factores de absorción parciales:

$$\alpha(\omega) = \sum_i \alpha_i(\omega) = \sum_i \sigma_i(\omega) N_l \quad (21)$$

Por lo tanto, el espectro de absorción total se compone de los espectros de absorción de los distintos centros de absorción.

Al interactuar los electrones del semiconductor con la radiación electromagnética deben cumplirse dos leyes: la ley de conservación de la energía E y la ley de conservación del casi impulso \mathbf{p} , y después de interactuar se tiene E' y \mathbf{p}' , estas leyes se escriben en la forma

$$E' = E + \hbar\omega \quad (22)$$

$$\mathbf{p}' = \mathbf{p} + \hbar\bar{\eta} \quad (23)$$

La absorción de la radiación en los semiconductores puede estar vinculada con la variación del estado energético de los electrones libres o enlazados con los átomos, así como la variación de la energía vibratoria (oscilante) de los átomos de la red. Debido a esto, en los semiconductores se distinguen cinco tipos fundamentales de absorción óptica: intrínseca, excitónica, por portadores de carga libres, extrínseca y absorción de la luz por la red cristalina.” [3]

Una vez absorbidos los fotones infrarrojos, el microcontrolador atmega 328 del vehículo motorizado free infrarossi, mide la energía utilizada en el proceso de movilidad de las partículas cargadas en el diodo y esta información es enviada vía bluetooth al ordenador.

³Esta fuente se elaboró con un diodo led infrarrojo de 800 nm y un encapsulado epoxi de 3 mm.

3 Montaje experimental

3.1 Materiales del montaje

Para la realización de este montaje se utilizarán los siguientes materiales:

- a. Ordenador con sistema operativo GNU-Linux.
- b. Modulo motorizado infrarossi.
- c. Software de control free infrarossi.
- d. Fuente emisora de fotones infrarrojos.
- e. Modulo bluetooth para pc.
- f. Rejilla de difracción de 100 líneas por milímetro

3.2 Montaje

Colocar la fuente³ emisora de fotones infrarrojos con la red de difracción de 100 líneas por milímetro, frente a ella colocar el modulo motorizado infrarossi a 45 cm de la fuente emisora, como se muestra en la figura 3.



Figura 3: Imagen del montaje para la difracción utilizando el modulo motorizado infrarossi, una fuente emisora de fotones de $\lambda = 800nm$ y una red de difracción de 100 líneas por milímetro.

Abrir una terminal de GNU-Linux y escribir infrarossi, oprimir enter y la clave de superusuario, luego de abrir el programa debe oprimir el botón on, esperar que se empareje el bluetooth, una vez emparejado el bluetooth el programa desplegará un tercer menú, oprimir el botón de difracción y esperar que el programa tome los datos necesarios.

Luego de capturar los datos aparecerá la gráfica de los datos, oprime doble click izquierdo en el máximo de interferencia y sin soltar el cursor lleve la linea al siguiente máximo de interferencia, suelte el botón del cursor e inmediatamente aparecerá la gráfica con el análisis de longitud de onda infrarroja del diodo, tal como se muestra en la figura 4.

La gráfica de análisis y los datos capturados se almacenan dentro del archivo llamado Carpetas/Difraccion con la fecha y hora del análisis de datos.

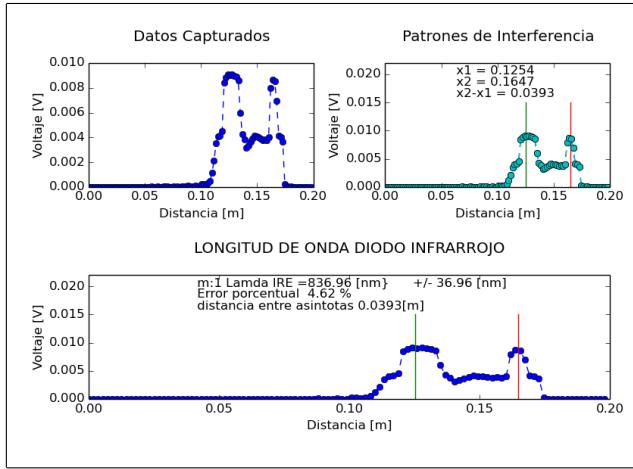


Figura 4: Imagen generada por el programa free infrarossi.

4 Análisis de resultados

El programa free infrarossi cuando termina de recoger los datos realiza un análisis estadístico de los mismos, en una ventana aparte realiza la gráfica de los datos y predice la longitud de onda del diodo emisor infrarrojo con un error en la medida aceptable, no superior al 15 % dependiendo de la rigurosidad en el montaje.

En la tabla 1, se muestra los resultados de nueve experimentos para calcular la longitud de onda λ de la radiación producida por un diodo led emisor infrarrojo, fueron capturados y analizados con el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi. ΔX es la distancia que hay entre pico y pico del patrón obtenido,

esta viene en metros; λ_{exp} . es la longitud de onda obtenida a través del experimento, viene en nanometros; λ_{teo} . Es la longitud de onda teórica del diodo emisor infrarrojo, la cual corresponde a 800nm; el error porcentual es la ultima columna de la tabla.

Prueba	ΔX [m]	$\lambda_{exp.}$ [nm]	$\lambda_{teo.}$ [nm]	error %
1	0.0393	836	800	4.62
2	0.0385	820	800	2.506
3	0.0393	836	800	4.62
4	0.0341	727	800	9.138
5	0.0345	735	800	8.978
6	0.0341	727	800	9.138
7	0.0337	718	800	10.198
8	0.0333	709	800	11.257
9	0.0349	744	800	7.019

Tabla 1. Datos obtenidos de nueve pruebas para medir la longitud de onda producida por un diodo emisor infrarrojo, con el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi.

5 Conclusiones

- * La longitud de onda media del experimento es de $\bar{\lambda}_{exp} = 761\text{nm}$, la cual difiere en 39nm de la longitud de onda del diodo emisor infrarrojo.
- * El modulo motorizado infrarossi y su software de control ilustran de manera cuantitativa y cualitativa fenómenos ondulatorios como la difracción e interferencia de las ondas electromagnéticas, calculando de manera aproximada su longitud de onda λ , con error inferior al 15 %.
- * El modulo motorizado infrarossi y su software de control es una herramienta fácil de usar y muy precisa, capaz de ser utilizada para diversos propósitos en el aula de clase como modelo pedagógico, tanto de profesionales como estudiantes de ciencias exactas.
- * La física que se encuentra de manera implícita y explícita en este trabajo hace que el instrumento motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi sea un herramienta indispensable en el aula de clase.

Referencias

- [1] Hecht, E., Dal Col, R., Talavera, R. W., & Pérez, J. M. G. (2000). Óptica. Addison Wesley.
- [2] Shalímová, K. V., & Grdiam, A. (1975). Física de los Semiconductores.
- [3] Pavlov, P. V., & Jojlov, A. F. (1987). Física del estado sólido. Rubiños-1860.
- [4] Alexander, C. K., Sadiku, M. N., Bermúdez, A. V., & Pedraza, C. R. C. (2006). Fundamentos de circuitos eléctricos. McGraw-Hill.
- [5] Gift, N., & Jones, J. M. (2008). Python for Unix and Linux system administration. “O'Reilly Media, Inc.”.
- [6] Álamos Zorrilla, J. (2004). Programación orientada a objetos con shell-bash. SÓLO PROGRAMADORES LINUX.

C.2 Articulo atenuación

Este articulo comienza en la pagina que sigue.

Ilustración de la ley de decaimiento de la densidad de flujo de radiación con el cuadrado inverso de la distancia de separación a la fuente; utilizando el modulo motorizado infrarossi y su software de control Free infrarossi

Diego Parra,* Julian Salamanca[†]
Universidad Distrital, Calle 3 No 26A-40 Bogotá-Colombia
Grupo de Física e Informática “FISINFOR”

March 6, 2016

Abstract

The present article illustrates the attenuation due to the inverse square law of the flux of radiation emitted by a LED diode infrared emitter, using a mirror, the motor module infrarossi and control software free infrarossi; environment GNU-linux, highlighting the functionality of this instrument illustration attenuation because to the irradiancia in point source is proportional to the inverse of the distance squared.

Keywords: Motor module, infrared sensors, microcontroller module bluetooth, electromagnetic wave, attenuation, inverse square law.

Resumen

El presente trabajo ilustra la atenuación debido a la ley del cuadrado inverso de la densidad de flujo de radiación emitida por un diodo led emisor infrarrojo, utilizando un espejo, el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi; en un entorno GNU-linux, resaltando la funcionalidad de este instrumento en la ilustración de la atenuación debido a que la irradiancia de una fuente puntual es proporcional al inverso de su distancia al cuadrado si no se consideran otros tipos de atenuación.

Descriptores: Modulo motorizado, sensores infrarrojos, microcontrolador, modulo bluetooth, ondas electromagnéticas, atenuación, ley del cuadrado inverso, quantum.

1 Introducción

Los fenómenos de las ondas siempre han fascinado nuestros pensamientos y tratamos de acercarnos a estos fenómenos para tratar de entenderlos, es allí donde la física con ayuda de la matemática muestran su majestuosidad, al explicar de manera muy detallada estos fenómenos de transporte; la atenuación es una de estas propiedades, la cual esta muy presente en la vida diaria y con la ayuda del modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi, se ilustra este fenómeno físico y se realiza un calculo del valor exponencial de la distancia a la cual se atenúa la irradiancia propia producida por un diodo infrarrojo emisor.

“Una fuente de luz casi siempre ilumina la superficie de los objetos desigualmente. Así, una lámpara suspendida sobre una mesa ilumina mejor el centro de ésta. Los bordes de la mesa están mucho menos iluminados. Esto no sólo se debe a que la intensidad de la luz de la lámpara eléctrica sea distinta en diferentes direcciones. Incluso en el caso un foco puntual corresponderá a la superficie del centro más potencia luminosa (flujo luminoso) que a una superficie igual en el borde.

Se llama iluminación (o iluminancia) a la razón del flujo luminoso, que incide sobre una superficie determinada, al área de dicha superficie.

*diegoestudianteud1@gmail.com

[†]jasalamanca@udistrital.edu.co

Como unidad de iluminación se toma el lux (lx); un lx es la iluminación con la cual sobre 1 metro cuadrado de superficie se distribuye uniformemente un flujo luminoso de un lumen.

La dependencia de la iluminación respecto de la distancia a la fuente se puede determinar colocando mentalmente una fuente puntual en el centro de una esfera, la iluminación será igual al flujo luminoso total de la fuente distribuido sobre el área de la esfera.

Es decir, la iluminación de una superficie es inversamente proporcional al cuadrado de su distancia a la fuente. ”[1]

2 Marco teórico

Los fotones producidos por el diodo emisor de la fuente emisora de radiación infrarroja se dan debido a que “en los semiconductores, con estructura compleja de las bandas energéticas, son posibles las transiciones indirectas de los electrones de la banda de conducción a la de valencia acompañadas de la emisión de un fotón. En este caso la recombinación del electrón libre con el hueco se desarrolla con la aparición de un fonón, lo que asegura la conservación del cuasi impulso. Lo más probable es que el fonón sea emitido. Si en el semiconductor se desarrollan procesos de recombinación entre bandas tanto directa como indirectas, en el espectro de radiación se observan dos bandas de luminiscencia.

En la banda prohibida de los semiconductores reales existe una gran cantidad de estados localizados, que están ligados a los átomos de impureza, defectos de la estructura, infracciones de la periodicidad de la estructura en la superficie, etc. Estos estados localizados desempeñan un papel importante en los procesos de luminiscencia.

Las transiciones de los electrones de la banda de conducción a los niveles de los pequeños donadores (o de los huecos de la banda de valencia a los niveles de los pequeños aceptores), que hacen que estos últimos se neutralicen, pueden ser con radiación. En este caso es de esperar la aparición de luminosidad en la región infrarroja remota del espectro. Pero los cálculos muestran que en estas transiciones lo más probable es que sea emitido un fonón y no un fotón, es decir, que el proceso se desarrolla sin radiación. La recombinación con radiación se produce por lo general como viene mostrado en la figura 1. Primero un electrón de la banda de conducción es capturado por un nivel local situado un poco más abajo que E_c ¹, y después se efectúa la

recombinación de este electrón localizado con un hueco de la banda de valencia, la cual va acompañada de la emisión de un fotón. El electrón puede también realizar una transición con radiación de la banda de conducción y después recombinarse con un hueco.

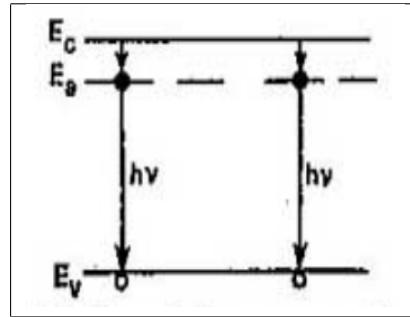


Figura 1: Transiciones con radiación entre una banda y los estados de impureza.

El estudio de los espectros de luminiscencia relacionados a diversas impurezas y defectos permite obtener información sobre estas infracciones de la estructura.

En los semiconductores se pueden producir pares electrón – hueco ligados por la atracción coulombiana, es decir, excitones. Si uno de estos pares se aniquila, se produce la emisión de un fotón. La energía de esta radiación es:

$$h\nu = E_g - E, \quad (1)$$

donde E es la energía de enlace del excitón.”[2]

Ahora se tiene un flujo de fotones de energía $h\nu$ saliendo del diodo emisor infrarrojo, “como los fotones viajan a la velocidad de la luz deben, de acuerdo con la teoría de la relatividad, tener una masa en reposo igual a cero; de aquí que su energía sea completamente cinética. Si un fotón existe, entonces se mueve a la velocidad de la luz, c ; si deja de moverse a velocidad c , deja de existir. Para $m_0 = 0$ la relación relativista momentum – energía se convierte en $E = pc$. de esta forma, cada fotón tiene un momentum de

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Desde el punto de vista cuántico, un haz de energía electromagnética se compone de fotones que se desplazan a la velocidad c . La intensidad del haz será proporcional al número de fotones que cruza un área unitaria por unidad de tiempo. Entonces, si el haz es monocromático (de una

¹ E_c es el nivel de energía de conducción.

frecuencia), la intensidad I se obtendrá de

$$I = (h\nu) \times \left(\frac{N}{A \times t} \right) \quad (3)$$

h es la constante de Plank que tiene un valor de $6,626 \times 10^{-34}(J * s)$; N es el número de fotones que pasan por segundo a través de la superficie; A es la superficie; t es el tiempo en segundos.” [3]

Esta radianza de fotones desde el diodo emisor, avanza por el espacio proyectando un ángulo sólido hasta un espejo que se encuentra a 27 cm de la fuente, por lo que la irradianza será igual al cociente de la radianza con el ángulo sólido proyectado sobre el espejo.

Ahora el flujo de fotones que interactúa con la superficie del material de muestra dan como resultado desde el punto de vista clásico varios fenómenos físicos como lo son la reflexión, refracción, absorción, atenuación, reflectancia, transmitancia. Ahora el flujo de fotones es visto como el flujo de ondas electromagnéticas, las que interactúan con la materia en donde parte de la energía es transmitida al material aumentando la energía cinética media de sus constituyentes, otra parte traspasa el material y el resto del flujo electromagnético avanza paralelamente contrario a la dirección de desplazamiento inicial, si no se considera interacción de las ondas electromagnéticas con el aire como medio disipativo y otras formas de perdida de energía.

En este trabajo solo se tiene en cuenta el fenómeno de reflexión de la luz con el espejo, en el caso ideal que no exista perdida de energía entre la luz incidente en el espejo; osea que la intensidad del rayo incidente sea igual a la intensidad de la luz emitida por la interfaz del espejo. Solo se tiene en cuenta la atenuación de energía debido al avance de la expansión geométrica por el espacio, debido al flujo de luz emitida por el diodo emisor infrarrojo.

Ahora la luz que sale del espejo tendrá que recorrer nuevamente 27 cm hasta el detector, mientras avanza seguirá decayendo su intensidad con el inverso del cuadrado de la distancia.

Al iluminar el diodo receptor infrarrojo con esta energía radiante, “en el semiconductor por cada fotón absorbido se rompe un enlace y se crea un par electrón-hueco. Es importante destacar que no todos los portadores fotogenerados contribuyen a la conducción, ya que una fracción importante de ellos se recombinan antes de llegar al extremo correspondiente del semiconductor. El cálculo del incremento de corriente ΔI_e , debida al exceso de electrones

generados en la banda de conducción, Δn , es

$$\Delta I_e = q\mu_e(\Delta n)ES \quad (4)$$

siendo E el campo eléctrico aplicado, μ_e la movilidad de los electrones y S la sección transversal del fotoconductor.

En condiciones de iluminación, el estado estacionario se alcanza cuando la velocidad de generación de portadores en todo el volumen del semiconductor, G , se iguala a la velocidad de recombinación, R , es decir $R = G$. para un conductor intrínseco en el cual existe un exceso de portadores, $\Delta n = \Delta p$, la velocidad de recombinación de los portadores vendrá dada por:

$$R = \frac{\Delta n}{\tau} = \frac{\Delta p}{\tau} \quad (5)$$

siendo τ el tiempo de vida media de los portadores fotogenerados. En un semiconductor de longitud L en el que suponemos que el espesor es suficiente para que toda la luz que incide sobre él, sea absorbida en su interior, se tiene ahora para la velocidad de generación de portadores en la banda de conducción:

$$G = \eta n_{fot} = \eta \frac{\frac{P_i}{h\nu}}{SL} \quad (6)$$

siendo n_{fot} el número de fotones incidentes en el semiconductor por unidad de volumen y de tiempo, y η la eficiencia de la conversión en la generación de portadores. El valor n_{fot} se calcula a través del cociente entre la potencia de la luz incidente, P_i , y la energía de la radiación, $h\nu$, dividido a su vez por el volumen del material.

Sabiendo que la velocidad de arrastre de los electrones por el campo eléctrico viene dada por: $v_e = \mu_e E$, las igualdades anteriores permiten escribir para la corriente de electrones fotogenerada entre los dos electrodos:

$$\Delta I_e = q\nu_e \eta \frac{\frac{P_i}{h\nu}}{L} \tau \quad (7)$$

si se tiene en cuenta que el cociente $t_r = L/v_e$, representa el tiempo de tránsito de los electrones entre los dos electrodos, resulta para ΔI_e :

$$\Delta I_e = q\eta \frac{P_i}{h\nu} \frac{\tau}{t_r} \quad (8)$$

con una expresión similar para la corriente de huecos en la banda de valencia. En la ecuación anterior, el factor $q\eta(P_i/h\nu) = I_{fot}$ tiene dimensiones de corriente y representa la velocidad de generación de carga en el semiconductor. En función de este parámetro, se define el factor de ganancia del fotoconductor a través del cociente:

$$\frac{\Delta I}{I_{fot}} = \frac{\tau}{t_r} \quad (9)$$

ahora bien un diodo operando con cierto voltaje aplicado, V , en presencia de radiación electromagnética capaz de excitar portadores a través de la banda prohibida dejara pasar una intensidad I dada por:

$$I = I_0[e^{(qV/kT)} - 1] - I_L \quad (10)$$

donde I_0 representa la corriente típica de un diodo, I_L representa la corriente debida a los portadores generados. El valor de I_L puede calcularse de la siguiente manera:

$$I_L = qGS(L_e - L_h) \quad (11)$$

siendo G el número de portadores generados por unidad de volumen y de tiempo y S el área de la sección transversal del diodo. L_e y L_h representan las longitudes de difusión de los electrones y huecos. El dispositivo funciona entonces como detector del nivel de iluminación convirtiendo una señal óptica en señal eléctrica.” [4]

Como la corriente I en el diodo es proporcional a la irradianza de la superficie iluminada por fotones infrarrojos y esta ultima se atenúa con el inverso del cuadrado de la distancia del frente de energía a la fuente; en otras palabras como el voltaje que mide el microcontrolador es directamente proporcional a la corriente I en el diodo receptor infrarrojo, por consiguiente el voltaje medido en el semiconductor debe tener una relación inversamente proporcional al cuadrado de la distancia.

$$V(x) = \frac{A_0}{x^2} \quad (12)$$

3 Montaje experimental

3.1 Materiales del montaje

Para la realización de este montaje se utilizarán los siguientes materiales:

- a. Ordenador con sistema operativo GNU-Linux.
- b. Modulo motorizado infrarossi.
- c. Software de control free infrarossi.
- d. Espejo de $10 \times 20 \text{ cm}^2$.
- e. Modulo bluetooth para pc.

3.2 Montaje

Situar el vehículo motorizado infrarossi a una distancia de 27 cm del espejo como se muestra en la figura 2; el espejo

debe estar perpendicular a la parte frontal del vehículo. Abrir una terminal de GNU-Linux y escribir infrarossi, oprimir enter y la clave de superusuario, luego de abrir el programa debe oprimir el botón on, esperar que se empareje el bluetooth, una vez emparejado el modulo bluetooth, el programa desplegará un tercer menú, oprimir el botón de atenuación y esperar que el programa tome los datos necesarios.

Ahora el software de control free infrarossi le envía vía bluetooth la señal de avanzar y capturar datos al vehículo motorizado infrarossi el cual avanza 2 milímetros por cada paso, recolecta 140 datos por cada avance enviándolos vía bluetooth al ordenador en donde el software de control realiza un análisis estadístico de los mismos, cuando termina este análisis envía una señal al modulo motorizado infrarossi vía bluetooth, indicándole que avance nuevamente y repita el proceso, esto lo realiza 117 veces; una vez terminado de recoger todos los datos realiza una estadística sobre toda la muestra de estos datos capturados.



Figura 2: Imagen del montaje para la atenuación utilizando el modulo motorizado infrarossi y un espejo.

4 Análisis de resultados

El programa free infrarossi después de terminar de recoger los datos realiza un análisis estadístico de los mismos con un “ajuste lineal de una función exponencial de la forma $Y^* = aX^b$, siendo Y la variable dependiente, a la amplitud, X la variable independiente, b el valor del exponente en este caso de atenuación, Y^* es el valor esperado de la variable dependiente; aplicando logaritmo natural para linealizar se obtiene:

$$\ln(Y^*) = \ln(a) + b\ln(X) \dots \Rightarrow V^* = A + bU \quad (13)$$

donde V^* es $\ln(Y^*)$, A es el $\ln(a)$ y U es igual al $\ln(X)$.

La suma de todos los errores debe ser diferentes a cero $\sum e \neq 0$.

El exponente de ajuste b se halla con la varianza de U sobre V dividida entre la varianza de U sobre U , obteniendo

$$b = \frac{S_{UV}}{S_U^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n UV - \bar{U}\bar{V}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U^2 - \bar{U}^2} \quad (14)$$

ahora el valor de A sera igual al valor medio del logaritmo de la variable dependiente \bar{V} menos el valor de la multiplicación entre el exponente b y el valor medio del logaritmo de la variable independiente:

$$A = \bar{V} - b\bar{U} \quad (15)$$

deshaciendo el logaritmo de A se obtiene el valor de la amplitud a :

$$a = \text{antiln}(A) = \text{antiln}(\bar{V} - b\bar{U}) \quad (16)$$

de modo que el ajuste efectuado es:

$$Y^* = aX^b = [\text{antiln}(\bar{V} - b\bar{U})] * X^{\left(\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n UV - \bar{U}\bar{V}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U^2 - \bar{U}^2}\right)} \quad (17)$$

la bondad del ajuste es el error cuadrático medio o ECM y es igual a:

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (18)$$

siendo e_i cada una de las diferencias entre las variables dependientes y los valores estimados para las variables dependientes $e_i = Y_i - Y^*$; al haber transformado la variable dependiente ya no se minimiza $\sum e^2$ sino $\sum (\ln(Y) - \ln(Y^*))^2$, de ahí que $\sum e \neq 0$. [5]

Luego de este análisis estadístico, aparecerá la gráfica de estos, la cual se aprecia en la figura 3, esta ya contiene el análisis estadístico y arroja el valor del exponente que debe tener la distancia. La gráfica de análisis y los datos capturados se almacenan dentro del archivo llamado Carpetas/Atenuacion con la fecha y hora del análisis de datos.

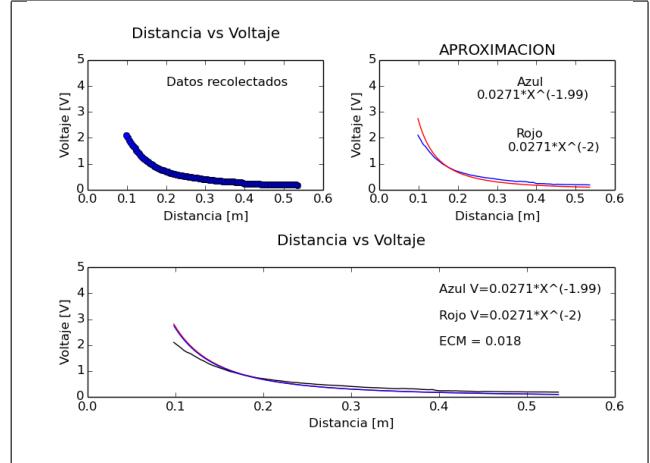


Figura 3: Imagen generada por el programa free infrarossi, donde se aprecia la gráfica de los datos capturados en el experimento de atenuación en puntos azules, las gráficas con la linea de color azul es la gráfica estimada estadísticamente, las gráficas con las lineas de color rojo es la gráfica teórica.

En la tabla 1, se muestra los resultados obtenidos después de seis pruebas del exponente de atenuación con el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi; en ella se observa que la amplitud de la función voltaje, tiene un valor medio de 0,0277, el valor medio del factor de atenuación de la distancia es -1,992; el valor obtenido en el análisis estadístico esta muy próximo al valor teórico; por lo que queda demostrado que la cantidad de energía radiada por el diodo emisor decrece con el inverso del cuadrado de la distancia.

Prueba	a	b	teorico	ECM
1	0.027	-2,067	-2	0.124
2	0.0276	-2.081	-2	0.054
3	0.0291	-1.863	-2	0.077
4	0.0276	-2.008	-2	0.044
5	0.0282	-1.939	-2	0.051
6	0.0271	-1.99	-2	0.018

Tabla 1. Datos obtenidos de seis pruebas para medir el exponente de atenuación, con el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi; a es la amplitud de la función, b es el exponente con el que se atenúa la función, ECM es el error cuadrático medio, o también llamado bondad en el ajuste.

Por tanto el Voltaje en función de la distancia tiene una ecuación estimada de:

$$V(x) = 0,0277X^{-1,99} \quad (19)$$

5 Conclusiones

- * La amplitud del valor medio de la función voltaje es $0,0277 [V][m^2]$, por lo que se considera este valor, como la amplitud ideal de la función voltaje.
- * El valor medio en el factor de atenuación de la distancia es $-1,992$ por lo que esta muy cercano al predicho por la teoría el cual es -2 , con un error en su estimación de $0,5\%$. Lo cual indica que efectivamente el decaimiento en la densidad de flujo electromagnético que atraviesa una superficie en la unidad de tiempo, y por ende que llega al sistema detector del modulo motorizado infrarossi, decrece con el cuadrado de la distancia.
- * El promedio del error cuadrático medio en los datos obtenidos por el experimentador indican que $6,13\%$ de estos no pueden ser explicados por este modelo físico-matemático, dejando solamente un $93,87\%$ de fiabilidad en el ajuste estadístico, utilizado en este trabajo.
- * El modulo motorizado infrarossi y su software de control ilustran de manera cuantitativa y cualitativa fenómenos ondulatorios y corpusculares de la radiación electromagnética como la atenuación con el inverso del cuadrado de la distancia, la radianza, la irradiancia, fenómenos de transporte e inyección y su análisis estadístico, calculando de una manera aproximada el exponente que acompaña a la atenuación debido a la distancia de propagación del flujo de energía radiante producida en el diodo emisor infrarrojo.
- * El modulo motorizado infrarossi y su software de

control es una herramienta fácil de usar y muy precisa, capaz de ser utilizada para diversos propósitos en el aula de clase como modelo pedagógico, tanto de profesionales como estudiantes de diferentes carreras; haciendo de este recurso pedagógico una herramienta indispensable en el aula de clase.

Referencias

- [1] Miákshev, G. (1995). Bujovsev. Física 4. Editorial Mir. Moscú. 198658. Frumento A. Biofísica.
- [2] Shalímová, K. V., & Grdiam, A. (1975). Física de los Semiconductores.
- [3] Gautreau, R., Savin, W., & Velazquez Valle, D. R. (2001). Fisica moderna.
- [4] Albella, J. M., & Martínez-Duart, J. M. (1996). Fundamentos de electrónica física y microelectrónica. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [5] Ostle, B. (1981). Estadística aplicada. Limusa.
- [6] Hecht, E., Dal Col, R., Talavera, R. W., & Pérez, J. M. G. (2000). Óptica. Addison Wesley.
- [7] Pavlov, P. V., & Jojlov, A. F. (1987). Física del estado sólido. Rubiños-1860.
- [8] Gift, N., & Jones, J. M. (2008). Python for Unix and Linux system administration. “O'Reilly Media, Inc.”.
- [9] Álamos Zorrilla, J. (2004). Programación orientada a objetos con shell-bash. SÓLO PROGRAMADORES LINUX.

C.3 Articulo absorción

Este articulo comienza en la pagina que sigue.

Calculo del factor de perdida de la densidad de flujo de radiación emitida por un diodo led emisor infrarrojo, cuando esta radiación interactúa con la materia; utilizando el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi

Diego Parra,* Julian Salamanca[†]

Universidad Distrital, Calle 3 No 26A-40 Bogotá-Colombia
Grupo de Física e Informática “FISINFOR”

March 6, 2016

Abstract

This paper illustrates the calculation of the loss factor flux density of radiation emitted by a LED diode infrared emitter, when this radiation interacts with matter; using construction paper of various colors, the motor module infrarossi and control software free infrarossi, in a GNU-Linux environment; highlighting the functionality of this instrument in illustrating the calculation factor in the loss of voltage on the measuring instrument and its proportionality with the flux of radiation emitted by a LED diode emitting infrared radiation when it interacts with matter.

Keywords: Motor module, infrared sensors, microcontroller module bluetooth, electromagnetic wave, reflection, refraction, absorption, attenuation, reflectance, transmittance.

Resumen

El presente trabajo ilustra el calculo del factor de perdida de la densidad de flujo de radiación emitida por un diodo led emisor infrarrojo, cuando esta radiación interactúa con la metería; utilizando cartulinas de varios colores, el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi, en un entorno GNU-linux; resaltando la funcionalidad de este instrumento en la ilustración del calculo en el factor de perdida del voltaje en el instrumento de medida y su proporcionalidad con la densidad de flujo de radiación emitida por un diodo led emisor infrarrojo, cuando esta radiación interactúa con la metería.

Descriptores: Modulo motorizado, sensores infrarrojos, microcontrolador, modulo bluetooth, ondas electromagnéticas, reflexión, refracción, absorción, atenuación, reflectancia, transmitancia.

1 Introducción

Los fenómenos de las ondas siempre han fascinado nuestros pensamientos y tratamos de acercarnos a estos fenómenos para tratar de entenderlos, es allí donde la física con ayuda de la matemática muestran su majestuosidad, al explicar de manera muy detallada estos fenómenos de transporte; desde el punto de vista clásico en la interacción del flujo de radiación electromagnética con la materia pueden darse varios fenómenos tales como la reflexión, refracción, absorción, atenuación, reflectancia, transmitancia; en estos fenómenos, incide radiación sobre una superficie de muestra y se mide la proporción en la cantidad de radiación que

el material absorbe, que deja pasar y la que se refleja, estos cálculos son muy utilizados en espectrofotómetros infrarrojos y en diversos estudios que implican la interacción radiación – materia.

En este trabajo se hace un calculo del índice de reflectancia de las diferentes muestras, enviando radiación infrarroja sobre el material y midiendo el factor de perdida en la intensidad de la radiación electromagnética que incide sobre el detector infrarrojo del vehículo motorizado infrarossi después que la radiación ha interactuado con la muestra y ha sido reflejada.

*diegoestudianteud1@gmail.com

[†]jasalamanca@udistrital.edu.co

2 Marco teórico

Los fotones producidos por el diodo emisor de la fuente emisora de radiación infrarroja se dan debido a que “en los semiconductores, con estructura compleja de las bandas energéticas, son posibles las transiciones indirectas de los electrones de la banda de conducción a la de valencia acompañadas de la emisión de un fotón. En este caso la recombinación del electrón libre con el hueco se desarrolla con la aparición de un fonón, lo que asegura la conservación del cuasi impulso. Lo más probable es que el fonón sea emitido. Si en el semiconductor se desarrollan procesos de recombinación entre bandas tanto directa como indirectas, en el espectro de radiación se observan dos bandas de luminiscencia.

En la banda prohibida de los semiconductores reales existe una gran cantidad de estados localizados, que están ligados a los átomos de impureza, defectos de la estructura, infracciones de la periodicidad de la estructura en la superficie, etc. Estos estados localizados desempeñan un papel importante en los procesos de luminiscencia.

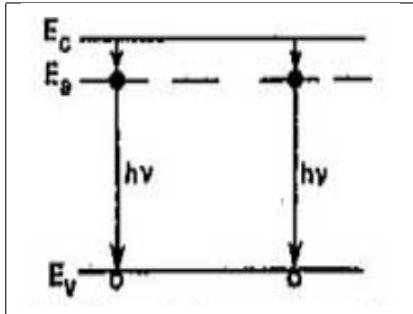


Figura 1: Transiciones con radiación entre una banda y los estados de impureza.

Las transiciones de los electrones de la banda de conducción a los niveles de los pequeños donadores (o de los huecos de la banda de valencia a los niveles de los pequeños aceptores), que hacen que estos últimos se neutralicen, pueden ser con radiación. En este caso es de esperar la aparición de luminosidad en la región infrarroja remota del espectro. Pero los cálculos muestran que en estas transiciones lo más probable es que sea emitido un fonón y no un fotón, es decir, que el proceso se desarrolla sin radiación. La recombinación con radiación se produce por lo general como viene mostrado en la figura 1. Primero un electrón de la banda de conducción es capturado por un nivel local situado un poco más abajo que E_c ¹, y después

¹ E_c es el nivel de energía de conducción.

²La muestra son octavos de cartulina de colores.

se efectúa la recombinación de este electrón localizado con un hueco de la banda de valencia, la cual va acompañada de la emisión de un fotón. El electrón puede también realizar una transición con radiación de la banda de conducción y después recombinarse con un hueco.

El estudio de los espectros de luminiscencia relacionados a diversas impurezas y defectos permite obtener información sobre estas infracciones de la estructura.

En los semiconductores se pueden producir pares electrón – hueco ligados por la atracción coulombiana, es decir, excitones. Si uno de estos pares se aniquila, se produce la emisión de un fotón. La energía de esta radiación es:

$$h\nu = E_g - E, \quad (1)$$

donde E es la energía de enlace del excitón.”[1]

Ahora se tiene un flujo de fotones de energía $h\nu$ saliendo del diodo emisor infrarrojo, “como los fotones viajan a la velocidad de la luz deben, de acuerdo con la teoría de la relatividad, tener una masa en reposo igual a cero; de aquí que su energía sea completamente cinética. Si un fotón existe, entonces se mueve a la velocidad de la luz, c ; si deja de moverse a velocidad c , deja de existir. Para $m_0 = 0$ la relación relativista momentum – energía se convierte en $E = pc$. de esta forma, cada fotón tiene un momentum de

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda} \quad (2)$$

Desde el punto de vista cuántico, un haz de energía electromagnética se compone de fotones que se desplazan a la velocidad c . La intensidad del haz será proporcional al número de fotones que cruza un área unitaria por unidad de tiempo. Entonces, si el haz es monocromático (de una frecuencia), la intensidad I se obtendrá de

$$I = (h\nu) \times \left(\frac{N}{A \times t} \right) \quad (3)$$

h es la constante de Plank que tiene un valor de $6,626 \times 10^{-34} (J \cdot s)$; N es el número de fotones que pasan por segundo a través de la superficie; A es la superficie; t es el tiempo en segundos.”[2]

Esta radianza de fotones desde el diodo emisor, avanza por el espacio proyectando un ángulo sólido, por lo que la irradiancia sera igual al cociente de la radianza con el ángulo sólido proyectado.

La máxima distancia que se toma para la radiancia de fotones es de 27 centímetros desde el diodo emisor hasta el material de muestra ² colocado perpendicular al flujo de energía, por lo que habrá reducido su intensidad con el inverso del cuadrado de la distancia de la fuente a la muestra $\frac{1}{(0,27)^2}$.

Ahora el flujo de fotones que interactúa con la superficie del material de muestra dan como resultado desde el punto de vista clásico varios fenómenos físicos como lo son la reflexión, refracción, absorción, atenuación, reflectancia, transmitancia. Ahora el flujo de fotones es visto como el flujo de ondas electromagnéticas, las que interactúan con la materia en donde parte de la energía es transmitida al material aumentando la energía cinética media de sus constituyentes, otra parte traspasa el material y el resto del flujo electromagnético avanza paralelamente contrario a la dirección de desplazamiento inicial, si no se considera interacción de las ondas electromagnéticas con el aire como medio disipativo y otras formas de perdida de energía.

“Consideremos un haz de luz circular que incide en una superficie, tal como se muestra en la figura 2, de tal modo que se produzca una zona iluminada cuya área sea A . Recordemos que la potencia por unidad de área que cruza una superficie en el vacío cuya normal es paralela a \mathbf{S} , el vector de Poynting viene determinado por:

$$\mathbf{S} = c^2 \epsilon_0 \mathbf{E} \times \mathbf{B} \quad (4)$$

A demás la densidad de flujo radiante (W/m^2) o irradiancia es entonces

$$I = \langle S \rangle_t = \frac{c\epsilon_0}{2} E_0 \quad (5)$$

Este el promedio de energía por unidad de tiempo que cruza un área unidad, normal a \mathbf{S} (en medios isótropos \mathbf{S} es paralela al vector de onda \mathbf{k}). En el caso que nos ocupa (figura 2) sean I_i , I_r y I_t las densidades de flujo incidente, reflejado y transmitido, serán respectivamente, $Acos(\theta_i)$, $Acos(\theta_r)$ y $Acos(\theta_t)$.

De acuerdo con esto, la potencia incidente es $I_iAcos(\theta_i)$, esta es la energía por unidad de tiempo que fluye en el rayo incidente y, por consiguiente, la potencia que llega a la superficie de A . Del mismo modo, $I_rAcos(\theta_r)$, es la potencia en el rayo reflejado, e $I_tAcos(\theta_t)$, es la potencia que se transmite a través de A . Definimos la **reflectancia** R como el cociente entre la potencia (o flujo) reflejada y la potencia incidente, es decir:

$$R \equiv \frac{I_rAcos(\theta_r)}{I_iAcos(\theta_i)} = \frac{I_r}{I_i} \quad (6)$$

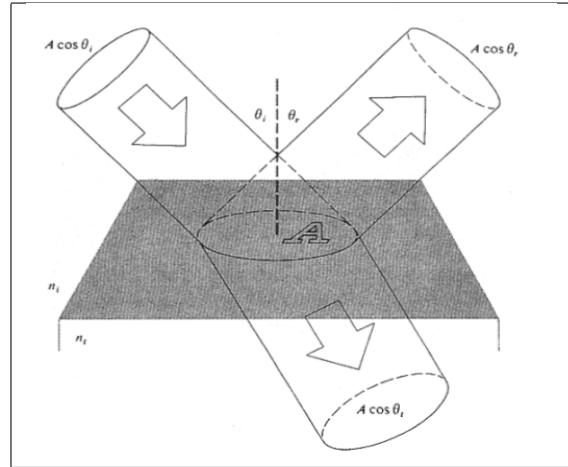


Figura 2: Reflexión y transmisión de un haz incidente.

Del mismo modo la **transmitancia** T se define como el cociente entre el flujo transmitido y el flujo incidente y viene dada por:

$$T \equiv \frac{I_tAcos(\theta_t)}{I_iAcos(\theta_i)} = \frac{I_t}{I_i} \quad (7)$$

escribamos ahora una ecuación que represente la conservación de energía para la configuración que se muestra en la figura 2. Dicho de otro modo, la energía total que llega al área A por unidad de tiempo debe ser igual a la energía que fluye hacia fuera de ella por unidad de tiempo:

$$I_iAcos(\theta_i) = I_rAcos(\theta_r) + I_tAcos(\theta_t) \quad (8)$$

multiplicando a ambos lados por c esta expresión queda:

$$n_iE_{0i}^2cos(\theta_i) = n_rE_{0r}^2cos(\theta_r) + n_tE_{0t}^2cos(\theta_t)$$

Dividiendo a ambos lados por $n_iE_{0i}^2cos(\theta_i)$ obtenemos:

$$1 = \left(\frac{E_{0r}}{E_{0i}} \right)^2 + \left(\frac{n_tcos(\theta_t)}{n_i cos(\theta_i)} \right) \left(\frac{E_{0t}}{E_{0i}} \right)^2 \quad (9)$$

Pero esto es simplemente:

$$R + T = 1 \quad (10)$$

En donde n_i es el índice de refracción del medio del que incide, n_t es el índice de refracción en el medio transmitido.”[3]

Si tomamos R como la reflectancia y T como el factor de perdida de energía por la muestra, podemos decir que:

$$I_{tot} = RI_{tot} + TI_{tot}$$

En donde I_{fot} , es el flujo de fotones que inciden por unidad de tiempo sobre la superficie, RI_{fot} es el flujo de fotones que son reflejados por unidad de tiempo sobre la superficie y TI_{fot} es el flujo de fotones que se transmitieron sobre la superficie. De esta manera los fotones salen de la muestra con una radianza de RI_{fot} .

Esta radianza de fotones desde el punto de vista cuántico RI_{fot} , o frente de onda desde el punto de vista clásico $\left(\frac{E_{0r}}{E_{0i}}\right)^2$, tiene que avanzar ahora 27 centímetros desde la muestra hasta el detector, por lo que ahora disminuirá su intensidad desde la muestra al foto detector con el inverso del cuadrado de la distancia $\frac{RI_{fot}}{(0.27)^2}$.

Al iluminar el diodo receptor infrarrojo con esta energía radiante, “en el semiconductor por cada fotón absorbido se rompe un enlace y se crea un par electrón-hueco. Es importante destacar que no todos los portadores fotogenerados contribuyen a la conducción, ya que una fracción importante de ellos se recombinan antes de llegar al extremo correspondiente del semiconductor. El cálculo del incremento de corriente ΔI_e , debida al exceso de electrones generados en la banda de conducción, Δn , es

$$\Delta I_e = q\mu_e(\Delta n)ES \quad (11)$$

siendo E el campo eléctrico aplicado, μ_e la movilidad de los electrones y S la sección transversal del fotoconductor.

En condiciones de iluminación, el estado estacionario se alcanza cuando la velocidad de generación de portadores en todo el volumen del semiconductor, G , se iguala a la velocidad de recombinación, R , es decir $R = G$. para un conductor intrínseco en el cual existe un exceso de portadores, $\Delta n = \Delta p$, la velocidad de recombinación de los portadores vendrá dada por:

$$R = \frac{\Delta n}{\tau} = \frac{\Delta p}{\tau} \quad (12)$$

siendo τ el tiempo de vida media de los portadores fotogenerados. En un semiconductor de longitud L en el que suponemos que el espesor es suficiente para que toda la luz que incide sobre él, sea absorbida en su interior, se tiene ahora para la velocidad de generación de portadores en la banda de conducción:

$$G = \eta n_{fot} = \eta \frac{P_i}{h\nu} \frac{S}{L} \quad (13)$$

siendo n_{fot} el número de fotones incidentes en el semiconductor por unidad de volumen y de tiempo, y η la

eficiencia de la conversión en la generación de portadores. El valor n_{fot} se calcula a través del cociente entre la potencia de la luz incidente, P_i , y la energía de la radiación, $h\nu$, dividido a su vez por el volumen del material.

Sabiendo que la velocidad de arrastre de los electrones por el campo eléctrico viene dada por: $v_e = \mu_e E$, las igualdades anteriores permiten escribir para la corriente de electrones fotogenerada entre los dos electrodos:

$$\Delta I_e = q\nu_e \eta \frac{P_i}{h\nu} \frac{\tau}{L} \quad (14)$$

si se tiene en cuenta que el cociente $t_r = L/v_e$, representa el tiempo de tránsito de los electrones entre los dos electrodos, resulta para ΔI_e :

$$\Delta I_e = q\eta \frac{P_i}{h\nu} \frac{\tau}{t_r} \quad (15)$$

con una expresión similar para la corriente de huecos en la banda de valencia. En la ecuación anterior, el factor $q\eta(P_i/h\nu) = I_{fot}$ tiene dimensiones de corriente y representa la velocidad de generación de carga en el semiconductor. En función de este parámetro, se define el factor de ganancia del fotoconductor a través del cociente:

$$\frac{\Delta I}{I_{fot}} = \frac{\tau}{t_r} \quad (16)$$

ahora bien un diodo operando con cierto voltaje aplicado, V , en presencia de radiación electromagnética capaz de excitar portadores a través de la banda prohibida dejará pasar una intensidad I dada por:

$$I = I_0[e^{(qV/kT)} - 1] - I_L \quad (17)$$

donde I_0 representa la corriente típica de un diodo, I_L representa la corriente debida a los portadores generados. El valor de I_L puede calcularse de la siguiente manera:

$$I_L = qGS(L_e - L_h) \quad (18)$$

siendo G el número de portadores generados por unidad de volumen y de tiempo y S el área de la sección transversal del diodo. L_e y L_h representan las longitudes de difusión de los electrones y huecos. El dispositivo funciona entonces como detector del nivel de iluminación convirtiendo una señal óptica en señal eléctrica.” [4]

Como la corriente I en el diodo es proporcional a la irradiancia de la superficie iluminada por fotones infrarrojos y esta última se atenua con el inverso del cuadrado de la distancia del frente de energía a la fuente; en otras palabras como el voltaje que mide el microcontrolador es directamente proporcional a la corriente I en el diodo receptor infrarrojo, por consiguiente el voltaje medido en

el semiconductor debe tener una relación inversamente proporcional al cuadrado de la distancia, para el caso ideal:

$$I_{fot}(x) \propto V(x) = \frac{A_0}{x^2} \quad (19)$$

para este caso en el que el material absorbe parte de esa energía, solo RI_{fot}/x^2 estarán incidiendo en la superficie del foto detector infrarrojo por lo que ahora el voltaje medido en el microcontrolador sera:

$$RI_{fot}(x) \propto RV(x) = \frac{RA_0}{x^2} \quad (20)$$

3 Montaje experimental

3.1 Materiales del montaje

Para la realización de este montaje se utilizarón los siguientes materiales:

- a. Ordenador con sistema operativo GNU-Linux.
- b. Modulo motorizado infrarossi.
- c. Software de control free infrarossi.
- d. Un octavo de cartulina de los siguientes colores: azul, amarilla, roja, verde oscura, negra.
- e. Modulo bluetooth para pc.

3.2 Montaje

Situar el vehículo motorizado infrarossi a una distancia de 27 cm de la muestra (octavo de cartulina) tal como se muestra en la figura 3, la muestra debe estar perpendicular a la parte frontal del vehículo. Abrir una terminal de GNU-Linux y escribir infrarossi, oprimir enter y la clave de superusuario, luego de abrir el programa debe oprimir el botón on, esperar que se empareje el bluetooth, una vez emparejado el modulo bluetooth, el programa desplegará un tercer menú, oprimir el botón de absorción y esperar que el programa tome los datos necesarios.

Ahora el software de control free infrarossi le envía vía bluetooth la señal de avanzar y capturar datos al vehículo motorizado infrarossi el cual avanza 2 milímetros por cada paso, recolecta 140 datos por cada avance enviándolos vía bluetooth al ordenador en donde el software de control realiza un análisis estadístico de los mismos, cuando termina este análisis envía una señal al modulo motorizado infrarossi vía bluetooth, indicándole que avance nuevamente y repita el proceso, esto lo realiza 117 veces; una vez terminado de

recoger todos los datos realiza una estadística sobre toda la muestra de estos datos capturados.



Figura 3: Imagen del montaje para la absorción utilizando el modulo motorizado infrarossi y un octavo de cartulina.

4 Análisis de resultados

El programa free infrarossi después de recoger los datos realiza un análisis estadístico de los mismos con un “ajuste lineal de una función exponencial de la forma $Y^* = aX^b$, siendo Y la variable dependiente, a la amplitud, X la variable independiente, b el valor del exponente en este caso de atenuación, Y^* es el valor esperado de la variable dependiente; aplicando logaritmo natural para linealizar se obtiene:

$$\ln(Y^*) = \ln(a) + b\ln(X) \dots \Rightarrow V^* = A + bU \quad (21)$$

donde V^* es $\ln(Y^*)$, A es el $\ln(a)$ y U es igual al $\ln(X)$.

La suma de todos los errores debe ser diferentes a cero $\sum e \neq 0$.

El exponente de ajuste b se halla con la varianza de U sobre V dividida entre la varianza de U sobre U , obteniendo

$$b = \frac{S_{UV}}{S_U^2} = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n UV - \bar{U}\bar{V}}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n U^2 - \bar{U}^2} \quad (22)$$

ahora el valor de A sera igual al valor medio del logaritmo de la variable dependiente \bar{V} menos el valor de la multiplicación entre el exponente b y el valor medio del logaritmo de la variable independiente:

$$A = \bar{V} - b\bar{U} \quad (23)$$

deshaciendo el logaritmo de A se obtiene el valor de la amplitud a:

$$a = \text{antiln}(A) = \text{antiln}(\bar{V} - b\bar{U}) \quad (24)$$

de modo que el ajuste efectuado es:

$$V^* = aX^b = [\text{antiln}(\bar{V} - b\bar{U})] * X^{\left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n UV - \bar{U}\bar{V}\right)} \quad (25)$$

la bondad del ajuste es el error cuadrático medio o ECM y es igual a:

$$ECM = \frac{\sum_{i=1}^n e_i^2}{n} \quad (26)$$

siendo e_i cada una de las diferencias entre las variables dependientes y los valores estimados para las variables dependientes $e_i = Y_i - Y_i^*$; al haber transformado la variable dependiente ya no se minimiza $\sum e^2$ sino $\sum (\ln(Y) - \ln(Y^*))^2$, de ahí que $\sum e \neq 0$.⁵

Este análisis se realizó previamente con un espejo, el cual deja como patrón de referencia o de voltaje ideal, el valor medio de $0,0277X^{-2}$ y en la figura 4 aparece con el nombre V_1 ; ahora el programa calcula un valor estimado para los datos de la siguiente manera: el voltaje perdido V_p debe ser igual al voltaje ideal V_1 menos el voltaje que mide el microcontrolador o sea el voltaje real V_{real} .

$$V_p = V_1 - V_{real}$$

El factor de perdida en el voltaje T debe ser igual al cociente del voltaje perdido V_p y el voltaje ideal V_1

$$T = \frac{V_p}{V_1}$$

por lo tanto el promedio en el factor de perdida debe ser igual a la transmitancia o mejor dicho a la energía que se transmitió a la muestra,

$$\bar{T} = \sum T_i / N$$

como la reflectancia es igual a $R = 1 - T$ (ecuación 10), el valor de la amplitud a , debe ser igual:

$$a = (1 - \bar{T})(0,0277)$$

por lo que ahora el voltaje estimado $V2^*$ en función del inverso de la distancia, disminuye con la reflectancia R :

$$V2^* = (1 - \bar{T})(0,0277)X^{-2}$$

después de este análisis el software free infrarossi realiza la gráfica mostrando en ella (figura 4) el voltaje ideal $V1(x)$, el voltaje estimado debido a la reflectancia $V2^*$ y el factor de transmitancia o factor de perdida en el voltaje F_p .

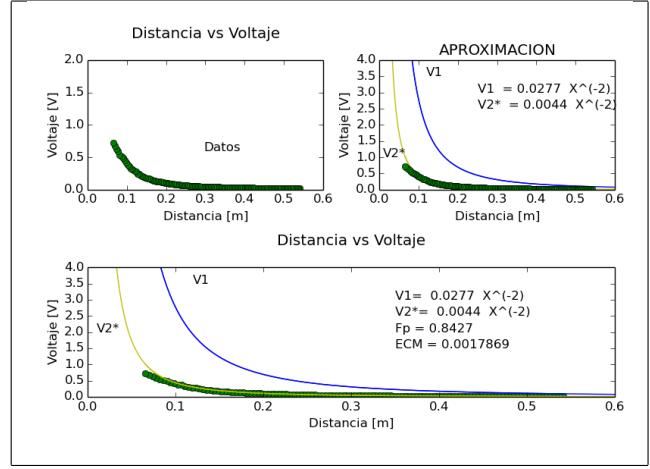


Figura 4: Imagen generada por el programa free infrarossi, donde se aprecia los datos capturados en el experimento, las funciones de color azul en la gráfica es el voltaje ideal V_1 , la función de color amarillo es la gráfica estimada $V2^*$ y los puntos de color negro son los datos recolectados.

En la tabla 1 se muestra la función de voltaje a en $[V][m^2]$, estimado por el software free infrarossi, para cada una de las diferentes muestras del mismo material de cartulina pero diferentes pigmentos; la cartulina en la cual hubo más transmitancia fue la de color negro, pues el 86,72 % de intensidad de la luz incidente sobre ella fue transmitida al material, llegando solo un 13,28 % de esta al sensor; ahora la muestra que mayor reflectancia tuvo fue la de color rojo pues el 18,17 % de la intensidad lumínica llegó al sensor, indicando que solo el 81,83 % de esta fue transmitida al material de muestra.

Color	a	T	R	ECM
Azul	0.0044	0.8427	0.1573	0.001786
Amarillo	0.0043	0.8436	0.1564	0.002051
Verde	0.0047	0.8299	0.1701	0.002794
Negro	0.0037	0.8672	0.1328	0.000295
Rojo	0.005	0.8183	0.1817	0.000389

Tabla 1. Datos de amplitud, transmitancia y reflectancia de cinco muestras de cartulina de diferentes colores, recolectados con el modulo motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi.

El error cuadrático medio indica que el valor estimado para la función de voltaje que se produce en el diodo cuando sobre este incide radiación infrarroja que ha interactuado con la muestra, es explicado en un 99,97 % con este tratamiento (figura 5 y 6).

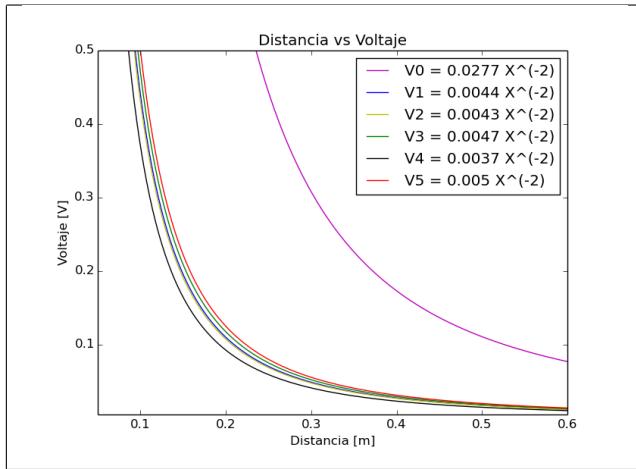


Figura 5: Imagen generada con la librería matplotlib de python 2.7, donde se aprecia las funciones estimadas por el programa y la función ideal de voltaje.

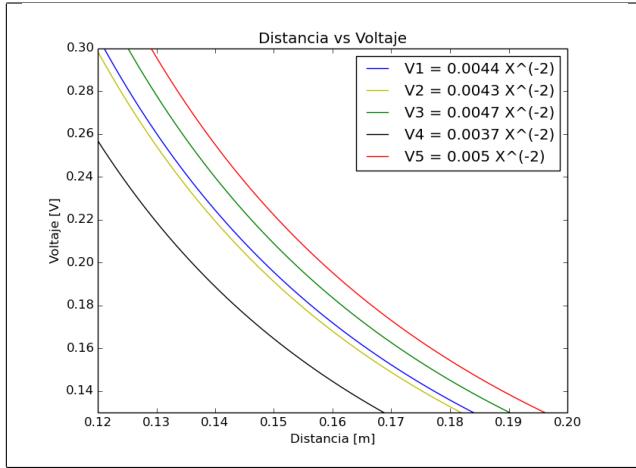


Figura 6: Imagen generada con la librería matplotlib de python 2.7, donde se aprecia una porción distinguible de las funciones estimadas por el programa.

5 Conclusiones

- * La muestra en la cual hubo más transmitancia, es la cartulina de color negro, pues el 86,72 % de intensidad de la luz incidente sobre ella fue transmitida al material, llegando solo un 13,28 % de esta al sensor.
- * La muestra que mayor reflectancia tuvo fue la de color rojo pues el 18,17 % de la intensidad lumínica llegó al sensor, indicando que solo el 81,83 % de esta fue transmitida al material de muestra.

* El modulo motorizado infrarossi y su software de control ilustran de manera cuantitativa y cualitativa fenómenos ondulatorios y corpusculares de la radiación electromagnética como la atenuación con el inverso del cuadrado de la distancia, la radiansa, la irradiancia, fenómenos de transporte e inyección, calculando el factor de perdida de voltaje en el sensor y de esta manera predice los valores de reflectancia y transmitancia del material estudiado.

* El error cuadrático medio indica que solo el 0,03 % del experimento no se explica con este modelo físico-matemático, dejando un 99,97 % de fiabilidad en el ajuste estadístico utilizado en este trabajo.

* La física que se encuentra de manera implícita y explícita en este trabajo hace que el instrumento motorizado infrarossi y su software de control free infrarossi sea un herramienta indispensable en el aula de clase, tanto de profesionales como estudiantes de ciencias afines.

Referencias

- [1] Shalímová, K. V., & Grdiam, A. (1975). Física de los Semiconductores.
- [2] Gautreau, R., Savin, W., & Velazquez Valle, D. R. (2001). Fisica moderna.
- [3] Hecht, E., Dal Col, R., Talavera, R. W., & Pérez, J. M. G. (2000). Óptica. Addison Wesley.
- [4] Albelia, J. M., & Martínez-Duart, J. M. (1996). Fundamentos de electrónica física y microelectrónica. Addison-Wesley Iberoamericana.
- [5] Ostle, B. (1981). Estadística aplicada. Limusa.
- [6] Miákishev, G. (1995). Bujovsev. Física 4. Editorial Mir Moscú. Moscú.
- [7] Pavlov, P. V., & Jojlov, A. F. (1987). Física del estado sólido. Rubiños-1860.
- [8] Gift, N., & Jones, J. M. (2008). Python for Unix and Linux system administration. “O'Reilly Media, Inc.”.
- [9] Álamos Zorrilla, J. (2004). Programación orientada a objetos con shell-bash. SÓLO PROGRAMADORES LINUX.
- [10] David P. Sanders (2013). Notas del curso para el computo científico. Curso de actualización académica de la DGAPA-UNAM..