

Diseño de una fuente emisora de fotones en el espectro infrarrojo para el montaje del experimento ilustrativo de la difracción con el software FREEinfraROSSI y el vehículo motorizado infraROSSI

Diego Alberto Parra Garzón
diegoestudianteud1@gmail.com,
PhD. Julian Andrés Salamanca Bernal
jasalamanca@udistrital.edu.co

Universidad Distrital “Francisco José de Caldas”, Facultad de Ciencias y Educación
calle 3 No 26A-40 Bogotá-Colombia
Grupo de Física e Informática “FISINFOR”

Abstrac

This writing describes in detail the design of an external source of optoelectronic type in the infrared range of the electromagnetic spectrum, which feeds the infrared emitting diode and focuses electromagnetic radiation produced by this infrared LED; decreasing the scattering angle of photonics radiansa on the diffraction grating 100 lines per millimeter, and providing a basis on which to rest the diffraction grating.

Keywords: Diffraction grating, optoelectronics source, dispersion, electromagnetic waves, infrared photons.

Resumen

El presente escrito, describe detalladamente el diseño de una fuente externa de tipo optoelectrónica en el rango infrarrojo del espectro electromagnético, la cual alimenta el diodo emisor infrarrojo y enfoca la radiación electromagnética producida por este led infrarrojo; disminuyendo el ángulo de dispersión de la radiación fotónica sobre la rejilla de difracción de 100 líneas por milímetro, y proporcionando una base en la que repose esta rejilla de difracción.

Palabras clave: Rejilla de difracción, fuente optoelectrónica, dispersión, ondas electromagnéticas, infrarrojo, fotones.

Índice

| | |
|---------------------------------|----------|
| INTRODUCCION | 2 |
| Diseño experimental | 2 |
| Diseño eléctrico | 2 |
| Montaje mecánico | 2 |
| Modelo físico matemático | 3 |
| Test del instrumento | 5 |
| Análisis de resultados | 7 |
| Conclusiones | 7 |
| Referencias | 7 |

Índice de figuras

| | |
|---|---|
| 1. Vista lateral de la fuente emisora en infrarrojo FUENinfraROSSI. | 2 |
| 2. Esquema del sistema de modulación de señal de (9 a 5)V de la fuente FUENinfraROSSI. | 3 |
| 3. Esquema eléctrico del sistema de modulación de señal de (9 a 5)V de la fuente FUENinfraROSSI. | 3 |
| 4. Esquema circuito impreso del sistema de modulación de señal de (9 a 5)V de la fuente FUENinfraROSSI. | 3 |
| 5. Esquema eléctrico del emisor de fotones infrarrojos de la fuente FUENinfraROSSI. | 3 |
| 6. Montaje mecánico, vista frontal de la fuente FUENinfraROSSI. | 3 |
| 7. Montaje mecánico, vista superior de la fuente FUENinfraROSSI. | 4 |

| | | |
|-----|---|---|
| 8. | Sistema óptico de la fuente FUENinfraROSSI. | 4 |
| 9. | Transiciones con radiación entre una banda y los estados de impureza. | 5 |
| 10. | Lente doble convexa (Serway, 1997). | 5 |
| 11. | Montaje del modulo motorizado infraROSSI. | 5 |
| 12. | Esquema de pines del sistema de control de hardware. | 6 |
| 13. | Esquema de pines del sistema de control de avance. | 6 |
| 14. | Esquema de pines del sensor de electro-recepción pasiva en infrarrojo. | 6 |
| 15. | Montaje test fuente FUENinfraROSSI. | 6 |
| 16. | Gráfica que ofrece el software FREEinfraROSSI para el enfoque óptico de la fuente FUENinfraROSSI. | 7 |

Índice de tablas

| | | |
|----|---|---|
| 1. | Análisis dispersión de la fuente FUENinfraROSSI con y sin sistema óptico. | 7 |
|----|---|---|

INTRODUCCION

Para el experimento de difracción se necesita una fuente emisora de fotones, que sea monocromática y que su flujo este en fase, el instrumento más utilizado para este propósito es el láser que es distribuido por fabricas que surten de instrumentos científicos a las universidades y centros de investigación, marcas como PHYWE¹, LEYBOLD² entre otras, ofrecen estos productos de una excelente precisión en su longitud de onda, con una modulación de fase muy alta, pero también con precios no muy cómodos; por lo que este proyecto ofrece una alternativa económica para la fuente como se observa en la figura 1, a la que se le asigno el nombre de FUENinfraROSSI, esta cuenta con un enfoque óptico del tipo lente doble convexa (Giancoli, Association, et al., 1998); la densidad de flujo fotónico irradiado por el led es de $45mW/\Omega$, con una longitud de onda de 850 nm y una señal de voltaje de funcionamiento óptimo de $(1.7\text{ a }2)\text{V}$ voltaje continuo según parámetros del fabricante³.

Diseño experimental

La fuente FUENinfraROSSI tiene adaptado un modulador de señal de $(9\text{ a }5)\text{V}$ voltaje continuo, con un sistema de modulación de señal de salida de 2V voltaje continuo del tipo resistivo; un enfoque óptico del tipo lente doble convexa; una base para sostener firmemente la rejilla de difracción y un indicador led de encendido.

Diseño eléctrico

El diseño eléctrico consta de un sistema modulador de señal de $(9\text{ a }5)\text{V}$ voltaje continuo como se observa

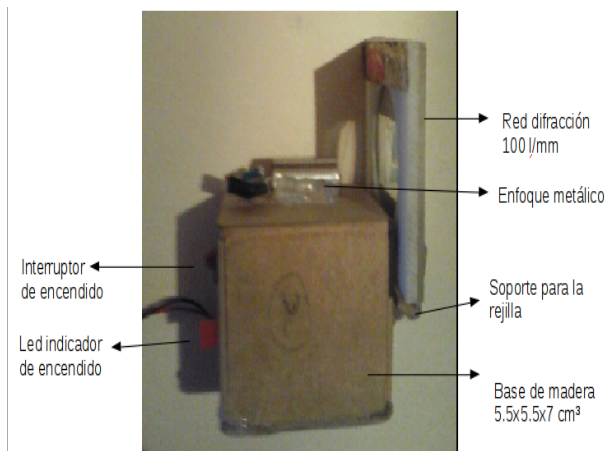


Figura 1. Vista lateral de la fuente emisora en infrarrojo FUENinfraROSSI.

en las figuras 2, 3 y 4, compuesto por el semiconductor Im7805cv^4 , dos condensadores electrolíticos de $10\text{ }\mu\text{F}$, un interruptor, una fuente de alimentación del tipo batería de 9V , 170mAh , recargable de tipo cuadrada, un led de color rojo, una resistencia de $300\text{ }\Omega$, un pin de salida a $+5\text{V}$ y otro pin a GND .

El sistema emisor de fotones como se observa en la figura 5, esta compuesto por un diodo led emisor infrarrojo con encapsulado epoxy de 3mm y una longitud de onda de 850 nm ; el cual crea una radiansa de fotones infrarrojos los cuales tendrán que avanzar hasta el sistema de enfoque fotónico y de allí ha la rejilla de difracción de $100\text{ líneas por milímetro}$, para irradiarse sobre el sistema de detección de electro-recepción pasiva (Pedraja, 2012), que posee el modulo motorizado infraROSSI para el estudio e ilustración del fenómeno físico ondulatorio de la difracción de ondas electromagnéticas en el espectro infrarrojo.

Montaje mecánico

El montaje de la fuente FUENinfraROSSI como se observa en las figuras 6 y 7, tiene dimensiones de $5.5 \times 5.5 \times 7.5\text{ cm}^3$ formando una caja hueca donde se coloca el sistema de alimentación de voltaje y sus elementos

¹Enlace a la sección online de láser PHYWE <https://www.phywe.com/en/experimentehierarchie/physics/age-16-19/optics/laser-optics/>

²Enlace a la sección online de laser LEYBOLD <http://www.photonics.ld-didactic.com/>

³Enlace a la hoja de datos del diodo led emisor infrarrojo suministrada por el fabricante online http://www.betlux.com/product/LED_lamp/infrared%20diodo/BL-L314IR.PDF

⁴Enlace a la hoja de datos suministrada por el fabricante para el semiconductor Im7805cv <http://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/9048/NSC/LM7805C.html>

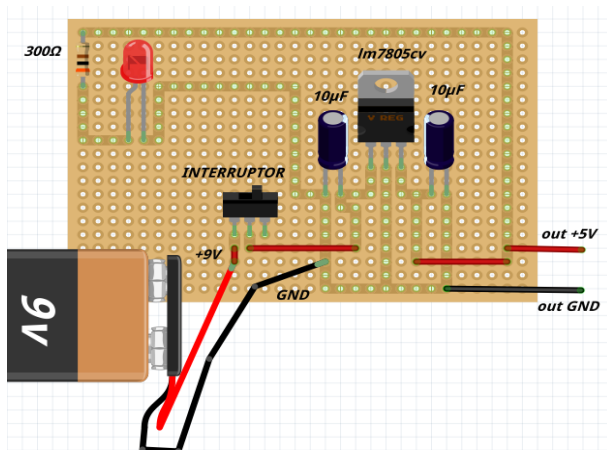


Figura 2. Esquema del sistema de modulación de señal de (9 a 5)V de la fuente FUENinfraROSSI.

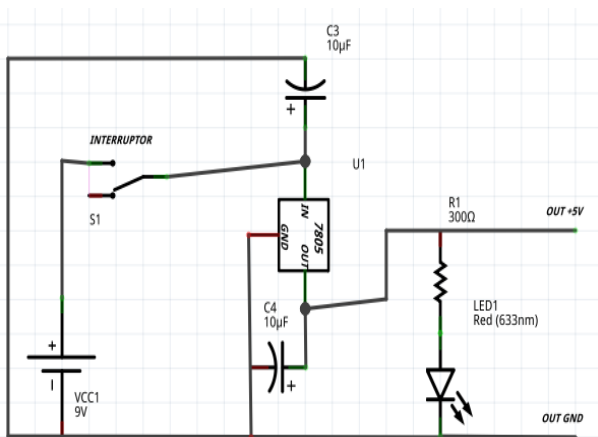


Figura 3. Esquema eléctrico del sistema de modulación de señal de (9 a 5)V de la fuente FUENinfraROSSI.

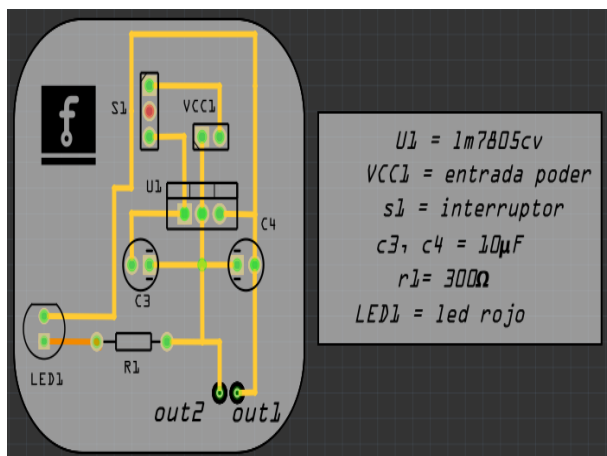


Figura 4. Esquema circuito impreso del sistema de modulación de señal de (9 a 5)V de la fuente FUENinfraROSSI.

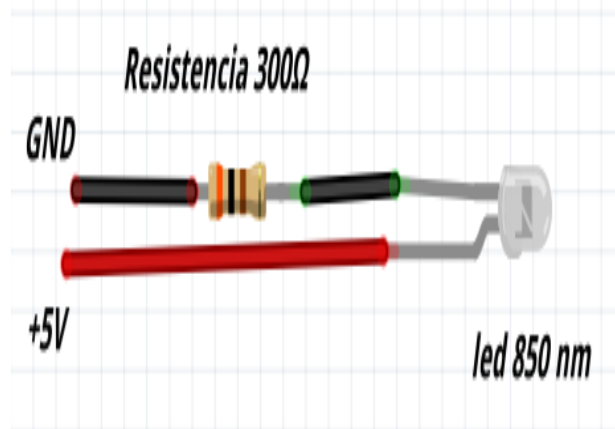


Figura 5. Esquema eléctrico del emisor de fotones infrarrojos de la fuente FUENinfraROSSI.

electrónicos junto a un interruptor de control de encendido y apagado , una base soporte donde se coloca la rejilla de difracción y una base soporte cilíndrica metálica donde se coloca el sistema de emisión fotónica. El sistema óptico

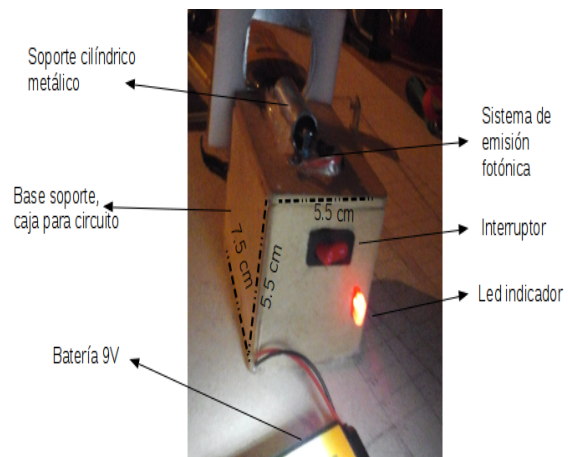


Figura 6. Montaje mecánico, vista frontal de la fuente FUENinfraROSSI.

de la fuente FUENinfraROSSI como se muestra en la figura 8, consta de una lente doble convexa, la cual se encarga de enfocar los fotones infrarrojos hasta llegar al obturador que permite el paso de los fotones enfocados por la lente doble convexa y a los que no están enfocados no les permite el paso, este obturador plástico tiene también la función de fijar la lente entre la base metálica circular de Ø.5 cm de diámetro y el diodo emisor infrarrojo de 3 mm de diámetro.

Modelo físico matemático

Una vez se enciende el interruptor de la fuente como se observa en la figura 7, el semiconductor lm7805 cv modula la señal de entrada de voltaje de 9V voltaje continuo a una

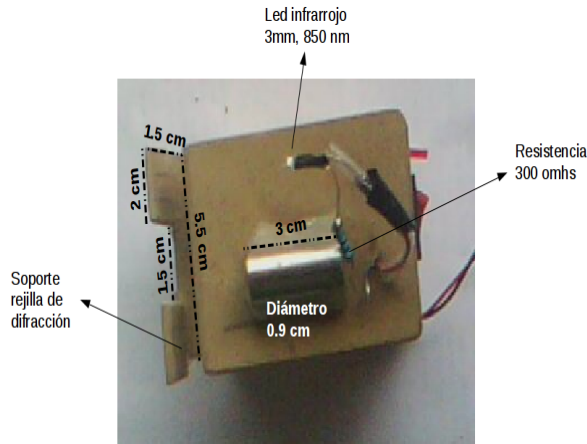


Figura 7. Montaje mecánico, vista superior de la fuente FUENinfraROSSI.

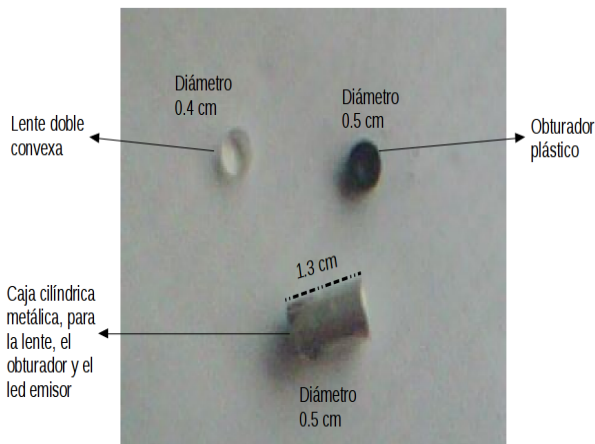


Figura 8. Sistema óptico de la fuente FUENinfraROSSI.

señal de 5V voltaje continuo esto con ayuda de los dos condensadores electrolíticos de $10\mu F$ que se encargan de filtrar el ruido de la señal tanto de entrada como de salida en el semiconductor (Alexander y Sadiku, 2002).

Al led⁵ indicador de encendido como se observa en las figuras 2 y 6, se le suministra 10mA para su corriente de trabajo, y 2V voltaje continuo para su voltaje de trabajo, por lo que la intensidad lumínica del led sera menor a 150 mcd.

El voltaje suministrado al led rojo de 2V, lo entrega la resistencia de $300\ \Omega$ a medio vatio como se observa en las figuras 2 y 3. Utilizando la ley de ohm en la ecuación 1, en donde V es el voltaje disipado por la resistencia, I es la corriente que circula por la resistencia y el semiconductor led rojo según (Alexander y Sadiku, 2002); cambiando los valores de la ecuación 1,

$$V = RI. \quad (1)$$

R toma el valor de $300\ \Omega$ e I toma el valor de 10 mA, el voltaje disipado por la resistencia es de 3V, de esta manera se obtiene el voltaje ideal para el indicador led.

Los fotones producidos por el diodo emisor de la fuente emisora de radiación infrarroja se dan según (Shalímov y Grdiam, 1975) (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, entre otros. 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 9.

Primero un electrón de la banda de conducción es capturado por un nivel local situado un poco más abajo que E_c ⁶, 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. En los semiconductores se pueden producir pares electrón-hueco ligados por la atracción coulombiana, es decir, excitones. Si uno de estos

⁵Hoja de datos del fabricante del diodo led rojo, online <https://www.sparkfun.com/datasheets/Components/LED/COM-09590-YSL-R531R3D-D2.pdf>

⁶ E_c es el nivel de energía de conducción.

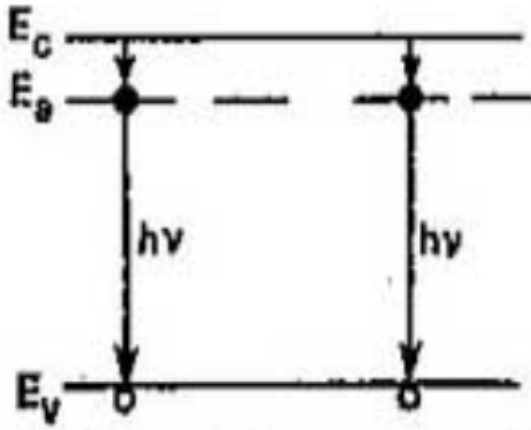


Figura 9. Transiciones con radiación entre una banda y los estados de impureza.

pares se aniquila, se produce la emisión de un fotón. La energía de esta radiación esta dada por la ecuación 2,

$$h\nu = E_g - E. \quad (2)$$

donde E es la energía de enlace del excitón.)

Ahora se tiene un flujo de fotones de energía $h\nu$ saliendo del diodo emisor infrarrojo, según (Gautreau, Savin, y Velazquez Valle, 2001) (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 como se muestra en la ecuación 3

$$p = \frac{E}{c} = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}. \quad (3)$$

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 la ecuación 4

$$I = (h\nu) \times \left(\frac{N}{A \times t} \right). \quad (4)$$

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).

Ahora los fotones salen del diodo led emisor infrarrojo

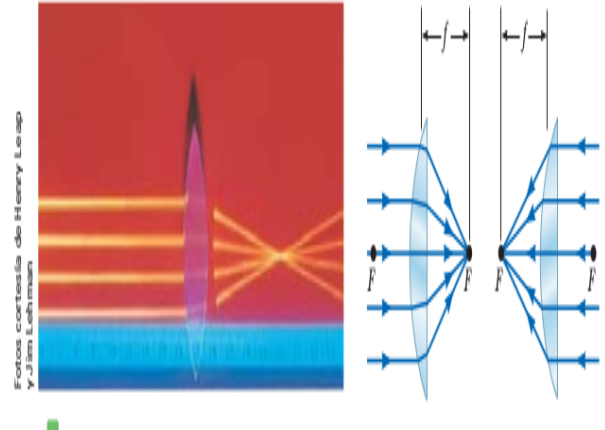


Figura 10. Lente doble convexa (Serway, 1997).

y avanzan hacia el sistema óptico el cual consiste en una lente doble convexa, la fuente emisora se coloca en el foco de la lente, pues como se muestra en la figura 10, cuando la fuente emite los fotones infrarrojos desde el punto focal, estos pasan por la lente y salen en forma paralela con menor dispersión que si no tuviera el sistema óptico.

Test del instrumento

Colocar el sensor de electro-recepción pasiva junto con el control de avance y el control de hardware en el vehículo motorizado infraROSSI como se observa en la figura 11. Los esquemas de pines de las partes utilizadas para el

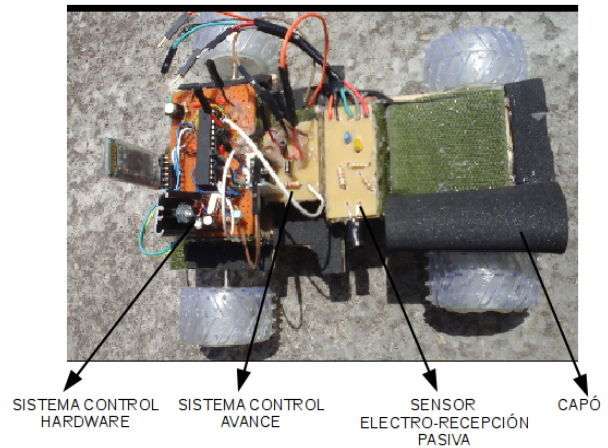


Figura 11. Montaje del módulo motorizado infraROSSI.

montaje se muestran en las figuras 12, 13 y 14; se debe conectar el pin ch2 con el pin ep5, el pin ch3 con el pin ca9, el pin de ch5 con el pin ep2, el pin de ch6 con el pin ep3, el pin ch7 con el pin ca2, el pin ch8 con el pin ca1, el pin ca4 con el pin ep4, el pin ca3 con el pin ep1,

por ultimo el pin ca7 y el pin ca8 son las conexiones al motor.

Se coloca el vehículo motorizado infraROSSI como

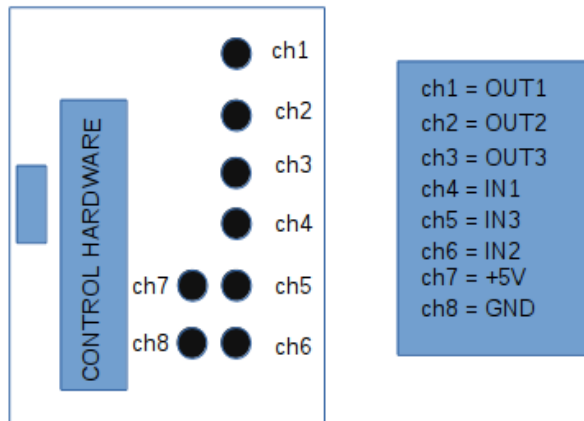


Figura 12. Esquema de pines del sistema de control de hardware.

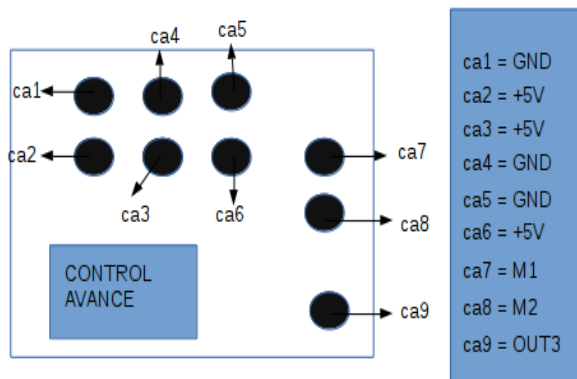


Figura 13. Esquema de pines del sistema de control de avance.

se muestra en la figura 15, a 30 cm de la fuente FUENinfraROSSI sin el sistema óptico, abrir una terminal de GNU-Linux y escribir en ella `infrarossi`, una vez abierta la ventana principal, dar click izquierdo en el botón on, una vez se establece la conexión bluetooth entre el ordenador y el vehículo `infraROSSI`, dar click izquierdo en el botón difracción, ahora el vehículo avanza hacia delante con un paso de 2 mm, recolectando datos con el sensor de electro-recepción pasiva; este paso lo realiza durante 20 cm.

Una vez termina de recoger los datos aparece una gráfica, no cerrar la gráfica, ni la ventana de color azul del programa, abrir el navegador de archivos y dirigirse a la carpeta `Documentos/Free-infrarossi/free_infrarossi/`

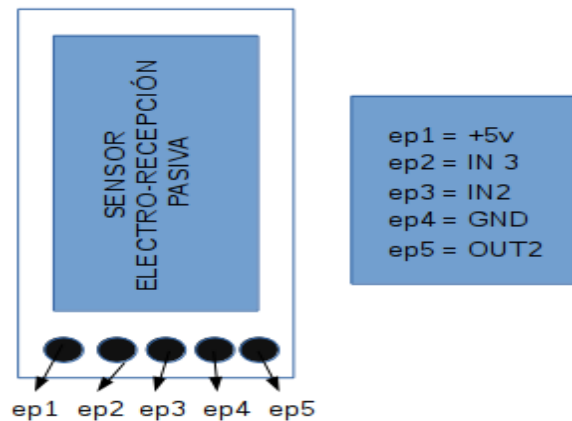


Figura 14. Esquema de pines del sensor de electro-recepción pasiva en infrarrojo.

datos; donde aparece un archivo con el nombre de `dat1.dat`, cambiar el nombre de este archivo a `dater.dat` y copiarlo a la carpeta `Documentos/Free-infrarossi/free_infrarossi/Carpetas/FUENTE/`.

Se coloca nuevamente el vehículo en la posición de



Figura 15. Montaje test fuente FUENinfraROSSI.

captura de datos como se muestra en la figura 15 pero esta vez con el sistema óptico; oprimir nuevamente el botón de difracción del software de control `FREEinfraROSSI`, una vez termina de recoger los datos debe abrir el navegador de archivos y dirigirse a la carpeta `Documentos/Free-infrarossi/free_infrarossi/datos;` donde aparece un archivo con el nombre de `dat1.dat`, cambiar el nombre de este archivo a `dat3.dat` y copiarlo a la carpeta `Documentos/Free-infrarossi/free_infrarossi/Carpetas/FUENTE/`, hacer doble click sobre el programa `est_fuente.py`, esperar unos segundos mientras el programa hace los cálculos necesarios y una vez hecho esto

mostrara la imagen que se observa en la figura 16.

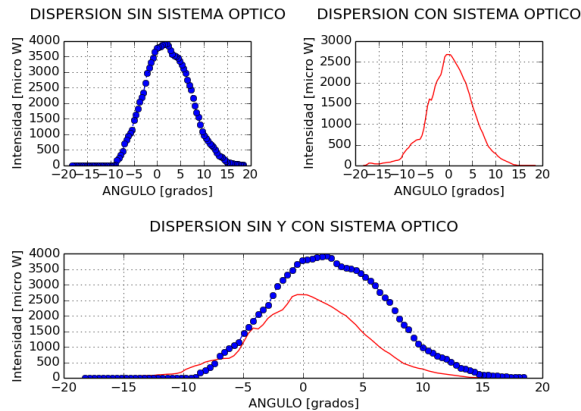


Figura 16. Gráfica que ofrece el software FREEinfraROSSI para el enfoque óptico de la fuente FUENinfraROSSI.

Análisis de resultados

Una vez termina de analizar los datos el programa se recomienda cerrar la ventana azul de software FREEinfraROSSI, el programa muestra la gráfica que se aprecia en la figura 16 en la cual se observa el flujo irradiado de fotones infrarrojos sobre el sistema de recolección del vehículo motorizado infraROSSI; en la tabla 1 se muestra el análisis de los datos con el sistema óptico colocado y sin colocar en la fuente, donde se observa que con el sistema óptico diseñado se obtiene una dispersión de 5 grados, esta dispersión se considera óptima para el experimento de difracción que ofrece el proyecto infraROSSI y su software de control FREEinfraROSSI.

Tabla 1
Análisis dispersión de la fuente FUENinfraROSSI con y sin sistema óptico.

| Prueba | Separación | Dispersión (Grados) |
|--------------------|------------|---------------------|
| Sin sistema óptico | 30 cm | 10 |
| Con sistema óptico | 30 cm | 5 |

Nota. Todos los datos son aproximados a partir de la gráfica que ofrece el software FREEinfraROSSI, la cual se observa en la figura 16.

Conclusiones

- * Con el sistema óptico de la FUENinfraROSSI se logra disminuir la dispersión de la luz infrarroja emitida por el diodo led infrarrojo en 5 grados.
- * Al mejorar el enfoque óptico de la fuente FUENinfraROSSI, se disminuye la intensidad de emisión fotónica de la misma.
- * El experimento de difracción ofrece parámetros aceptables con la fuente FUENinfraROSSI, aunque se puede mejorar esta fuente remplazando el diodo emisor infrarrojo por un diodo láser infrarrojo.
- * El diseño de esta fuente es económico, pues el precio de fabricación no supera los 15 dolares.
- * El análisis físico, matemático que se observa en este proyecto puede servir de modelo pedagógico para el estudio de diversos tópicos de óptica y electrónica de profesionales y estudiantes de diversas carreras de ciencia e ingeniería.

Referencias

Alexander, C., y Sadiku, M. (2002). *Fundamentos de circuitos eléctricos mcgraw-hill*. México.

Gautreau, R., Savin, W., y Velazquez Valle, D. (2001). *Física moderna*.

Giancoli, D. C., Association, B. D., y cols. (1998). *Physics: principles with applications* (Vol. 5). Prentice Hall Upper Saddle River, NJ, USA:.

Pedraja, F. (2012). *Modelo computacional de gymnotus omarorum: Un pez eléctrico de pulso con órgano distribuido*.

Serway, R. A. (1997). *física tomo ii*.

Shalíмова, K. V., y Grdiam, A. (1975). *Física de los semiconductores*.