

# Sistema de Control mediante LabVIEW para analizar la Contaminación Lumínica Automotriz (Marzo 2014)

Yolanda Angulo, Diego Benítez, y Tatiana Carvajal

**Resumen**—Se analiza la irradiancia y espectro de algunos focos como halógeno y LED, utilizados en las luces delanteras en los vehículos y como adorno de los mismos. Para poder establecer una comparación con estudios similares, se realiza la adquisición de datos controlada por LabVIEW, en los mismos rangos espectrales, de tal forma que, con los primeros análisis realizados a los focos de prueba se puede estudiar la contaminación lumínica automotriz y las consecuencias de salud que genera a los seres vivos; en el caso de flora y fauna llevándola a la extinción, y para las personas, disminuyendo su estilo y tiempo de vida.

**Términos**—Autos, contaminación lumínica automotriz, LabVIEW, perjudicial, salud.

## I. INTRODUCCIÓN

En el Ecuador, la ley de tránsito demanda en el artículo 165 que: “Todo vehículo deberá llevar sus luces encendidas, entre las 18h00 y las 06h00 del día siguiente y entre las 06h00 y las 18h00, si las condiciones atmosféricas (neblina, lluvia, etc.) lo exigen”. [1]

Debido a que no se cumple estrictamente con la ley, y en algunos casos se utiliza incluso luces de adorno en el día, la contaminación lumínica automotriz es un problema al cual nos enfrentamos diariamente debido a la producción y utilización masiva de diversos dispositivos que solucionan la falta de luminosidad, lo que genera un innecesario deslumbramiento, producido por el exceso de luz, el cual afecta al sistema receptor visual, principalmente a los conos y bastones que funcionan como sensores fotoeléctricos en el ser humano. [2,3]

Si bien los dispositivos que produzcan luz artificial son importantes, la luminosidad depende especialmente de factores regidos por la luminotecnia, también del espectro que crea, y de su control en la normalización de potencia óptica; estos factores, entonces, ayudarán a su regularización. Un buen diseño de alumbrado nocturno, redundará en la protección del paisaje y los hábitats, favoreciendo a la salud, privacidad y descanso, puesto que el objetivo no es obtener mayor luz, sino mejor visibilidad, y ésta se consigue evitando deslumbramientos y zonas de sombra; tampoco utilizando luz blanca, porque ésta afecta cuatro veces más a los insectos, interfiere en la alteración biorrímica de las personas y se difunde mejor en el aire invadiendo la región del espectro que

corresponde a la sensibilidad de la visión escotópica (Permite observar el cielo oscuro, lejos de las áreas iluminadas). [4]

Es por ello que en el desarrollo de este proyecto se implementará un sistema de control para fuentes de tensión y detectores ópticos mediante programación gráfica en la plataforma LabVIEW, con el cual se podrá analizar los efectos de ésta contaminación; su análisis principalmente estará enfocado a lámparas de tipo halógenas (H4) y LEDs (blanca y azul).

## II. TEORÍA RELACIONADA

Para el desarrollo del proyecto, se requiere tener claros algunos conceptos indispensables que ayudarán a conocer, cuán contaminante puede ser la iluminación vehicular, además de los daños que produce.

### A. Contaminación Lumínica

La contaminación lumínica se origina cuando existe un mal diseño del alumbrado artificial y por lo tanto un uso ineficiente del mismo; éste envía irradiación lumínica a zonas donde no son necesarias, como el cielo. Esta luz colisiona contra las partículas suspendidas en el espacio y se regresa perturbando el ciclo elemental nocturno. [5]

### B. Deslumbramiento

El deslumbramiento es la incidencia normal o directa de la luz artificial sobre el ojo de seres vivos como personas y animales, y es tanto más intenso mientras más adaptada a la oscuridad esté la visión, de tal manera que provoca molestia, interferencia, fatiga del ojo o incluso insensibilización de la retina. [6]

### C. Contaminación Lumínica Automotriz

La curva de distribución de iluminación dependerá de qué tipo de faro se le haya colocado al vehículo para conseguir aún más aumento de visibilidad, contribuyendo a una mayor contaminación lumínica automotriz. [7]

En los grandes países, es en donde más demanda de vehículos existe debido al tamaño de las ciudades, por lo que, la necesidad de transportarse aumenta; un claro caso de esto es

el de Finlandia, en donde desde 1950 se ha dado un gran aumento del flujo vehicular, mismos que vienen equipados con luces muy potentes, pero aun así se aumentó el alumbrado de las vías en un 16% desde 1980. [8]

Entonces, aparece aquí la opinión no sólo de ambientalistas, quienes protestan por el tiempo de vida que le resta al planeta, sino también de investigadores médicos quienes consideran que la contaminación lumínica, puede tener efectos en la salud, tanto de los seres humanos, como de la flora y la fauna. [9]

Debido a que los automóviles se desplazan en distintas zonas para movilizar a las personas, su daño es más evidente aún, porque en donde todavía era posible la visión escotópica, éstos iluminan la vía causando deslumbramiento al conductor que viene en sentido contrario, a animales acostumbrados a los ciclos estacionales y a la flora que en muchos de los casos cumplen con sus procesos durante la noche, tales como fotosíntesis, transpiración, respiración, y digestión. [10]

El término, radiación electromagnética, juega un papel fundamental en la contaminación lumínica ya que el radio, frecuencia, microonda, infrarrojo, luz visible, ultravioleta, rayos X y radiación gamma viajan libremente en el espacio causando graves consecuencias en la salud. [11]

El riesgo para los seres humanos, ha sido estudiado por epidemiólogos, afirmando que el daño causado se debe a los fotones de luz, compuesta de longitudes de onda entre 390-550[nm], que llegan al tejido de la retina provocando daños fotomecánicos (fectos de choque de las ondas luminosas), fototérmicos (calor local producido por las ondas) y fotoquímicas (cambios en las macromoléculas). [11, 12]

La luz azul es la que mayor problema presenta, ya que dentro de los daños que causa, se mencionaba el insomnio o riesgo de desarrollo de cáncer, debido a la exposición de la luz con alto componente de este color, alterando de esta forma los ritmos normales de melatonina.

Es por ello que, basándose en estos estudios, se establecen 4 grupos de riesgos, siendo 0 el menor y 3 el mayor, ya que una de las razones por las que la luz azul contribuye a la contaminación lumínica es porque se dispersa más fácilmente en la atmósfera. [13]

La luz empieza a causar efectos biológicos, como el trastorno del ritmo circadiano (oscilaciones de las variables biológicas en intervalos regulares de tiempo, asociadas a un cambio ambiental rítmico), cuando la cantidad de luxes a la que se expone se encuentra entre los 133-950[lux]. [11]

En el caso del cáncer de mama, debido a la exposición de la luz en la noche, se trastorna la fisiología circadiana y neuroendocrina, produciendo un aceleramiento en el crecimiento de los tumores. [14]

No poder descansar adecuadamente y bajo las condiciones necesarias, afecta a varios procesos del organismo como patrones de ondas cerebrales, producción de hormonas, regulación celular entre otras actividades biológicas produciendo desde depresión hasta enfermedades cardiovascular. "Estudios demuestran que el ciclo circadiano controla entre 10% y 15% de nuestros genes", explica Paolo

Sassone-Corsi, presidente del Departamento de Farmacología de la Universidad de California en Irvine en un medio electrónico publicado en la Pesquisa SciELO.

#### D. Irradiancia

La irradiancia es la cantidad de energía que incide sobre un sensor plano de área conocida por unidad de tiempo. Su medida en el sistema internacional (SI), está dada como, vatios por metro cuadrado [ $\text{W}/\text{m}^2$ ], pero anteriormente, se menciona que ésta medición se lleva a cabo dependiendo de un tiempo, el cual no consta en la unidad de medida, pero se encuentra contenido dentro de los vatios, ya que,  $1[\text{W}] = 1 [\text{J}/\text{s}]$ . En palabras sencillas, la irradiancia hace referencia a la luz que incide sobre un objeto. [15 - 18]

#### E. Flujo Radiante

El flujo radiante corresponde a la cantidad de energía emitida por unidad de tiempo. Su unidad de medida en el SI es el watt [ $\text{W}$ ]. Éste flujo depende directamente de la temperatura del cuerpo, así como la superficie del mismo, pero generalmente el flujo radiante que llega a este parte se refleja en la misma y parte se absorbe en el cuerpo, de donde se puede transmitir una fracción de la temperatura luego de haberlo atravesado; pero si el flujo transmitido es nulo todo el flujo radiante no reflejado, como es de esperarse se absorbe. [19, 20]

A veces, a la potencia óptica se le llama flujo radiante ya que es la misma potencia eléctrica o térmicamente en watts. Mide la tasa con las que las ondas electromagnéticas transfieren energía luminosa. [21]

#### F. Lumen

Al momento de estudiar sistemas, en óptica, cada magnitud luminosa, cada magnitud luminosa tendrá dos unidades, flujo luminoso [ $\text{W}$ ] y lúmenes [ $\text{lm}$ ], pero sólo la última es unidad de medida de óptica del SI.

El lumen entonces, queda definido como el flujo luminoso contenido en un ángulo sólido [ $\text{sr}$ ], por lo que, cuando un foco emite intensidad uniforme, una candela se coloca en el vértice de ese ángulo y se obtiene que,  $1[\text{lm}] = 1[\text{cd}] * 1[\text{sr}]$ . [22]

### III. HERRAMIENTAS DE USO

Las herramientas utilizadas para el desarrollo del proyecto, hacen viable un control de adquisición de datos, para los equipos que posibilitan el primer análisis de la contaminación lumínica automotriz.

#### A. LabVIEW

Aprovechando las ventajas de éste software, se puede realizar la adquisición de datos de equipos programables basándose en la transferencia de información.

El programador debe tener presente las características de los

algoritmos conservando finitud, definibilidad (realizar acciones paso a paso y sin ambigüedad en la programación), generalidad (agrupar todos los problemas según su tipo para una mayor facilidad de resolución), y efectividad para que el proyecto funcione correctamente en todos los casos y considerando todas las posibles fallas a las cuales se lo pueda someter incluso en las más duras pruebas. [23]

### B. Circuito de Electroluminiscencia

Bajo los principios mencionados anteriormente, se conseguirán algunos focos disponibles comercialmente en el mercado ecuatoriano, los cuales se utilizarán para la realización de las primeras pruebas, que posteriormente ayudarán a obtener la información necesaria para realizar un análisis de su nivel de contaminación lumínica, aunque en estos estudios no se analizará el sistema óptico de las luminarias, sólo la potencia óptica mediante el detector óptico, fuente de voltaje/corriente y el espectrómetro.

La función de la placa dentro del proyecto es simular el encendido y cambio de luces de los faros colocados en vehículos, mismos que servirán para iluminar la vía. [24]

La palabra simular se utiliza debido a que no fue necesaria la adquisición de una batería de auto para su funcionamiento, sino una fuente de voltaje/corriente. Los requerimientos del circuito no exigían las características que presta una batería, como es el caso de la corriente, ya que la suministrada por ésta, es básicamente para el encendido del vehículo, más no para el resto de sus funciones. Sin embargo, el valor de tensión utilizado es el mismo (12[V]), y la corriente necesaria para cada foco (H4 (8[A]) y LED (<1[A])). [25]

El resultado de las placas diseñadas se lo muestra en la Fig. 1.

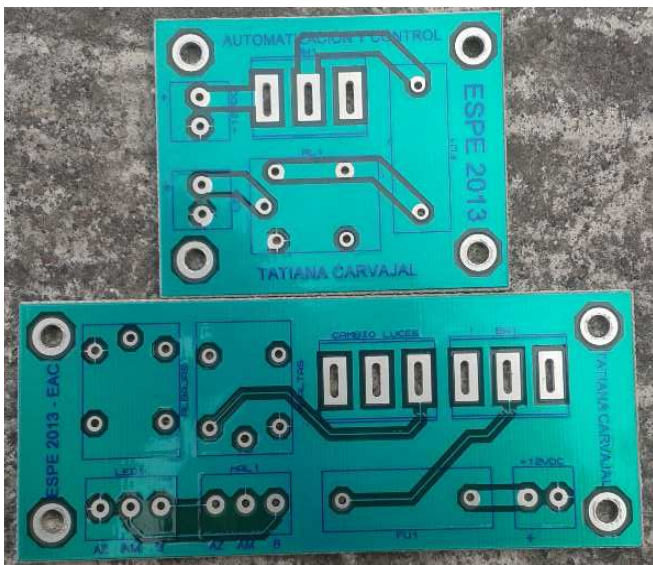


Fig. 1. Diseño de placas PCB para el encendido de luces delanteras altas y bajas de los vehículos.

### C. Equipos Programables

#### Medidor de Potencia Óptica

El medidor de potencia óptica utilizado para el desarrollo del proyecto, pertenece a la marca Moletron, el modelo EMP 1000; este es un medidor de energía AC (corriente alterna) que actualmente pertenece a Coherent Inc.

Trabaja en conjunto con el sensor de prueba de la misma marca, modelo PM3 serie 0453K99. [26, 27]

El EPM 1000 determina la potencia óptica mediante el uso de información de la sonda y un algoritmo interno, denominado Speedup, con el que se puede estimar rápidamente el valor final de la potencia. [28]

En lo que respecta al PowerMax PM3 de Moletron, éste es un sensor térmico de disco, con un amplificador integrado, el cual está diseñado para medir la potencia media de radiación óptica sobre la región espectral de 0,19 micras a 11 micras e impulsos de 50[ $\mu$ W] a 3[W]. [26 - 28]

La pantalla HMI de la programación del equipo se observa en la imagen a continuación, Fig. 2.

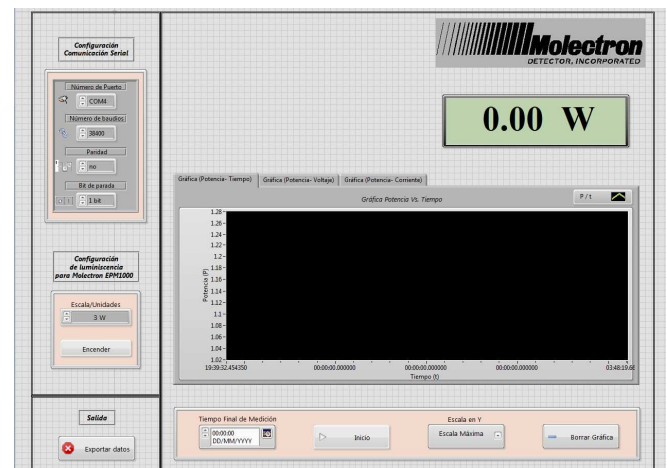


Fig. 2. Diseño de pantalla HMI para el control del medidor de potencia óptica, Moletron EPM 1000.

#### Multicalibrador

El modelo Fluke 5500A, es un instrumento calibrador de precisión para una amplia variedad de instrumentos de medición eléctricos.

Este equipo se conectará utilizando el protocolo RS - 232, tiene dos opciones diferentes para la transferencia de datos, el denominado "SERIAL 1 FROM HOST" y "SERIAL 2 TO UUT".

El "SERIAL 1 FROM HOST" es un puerto de datos que se conecta a un terminal host o un ordenador.

El "SERIAL 2 TO UUT" es un puerto de datos que se conecta a una unidad bajo prueba a un PC o terminal a través de la 5500A. [29]

El resultado de la pantalla HMI para el multicalibrador es el siguiente que se observa en la Fig. 3.

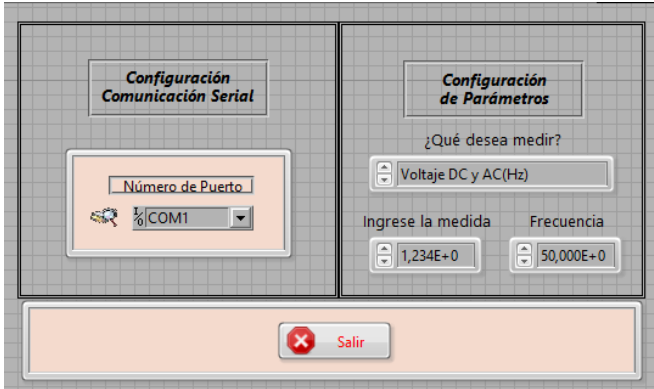


Fig. 3. Diseño de pantalla HMI para el control del multicalibrador, Fluke 5500A.

**Fuente de Energía**

Los instrumentos marca Keithley serie 2400, Source Measure Unit (SMU), proporcionan precisión en generación de voltaje y corriente, pueden actuar como una fuente de tensión, de corriente, un medidor de tensión, de corriente, y un ohmímetro. Algunas de las características de la fuente de energía incluyen bajo ruido, precisión y colación. [30]

**IV. RESULTADOS**

Se realizaron distintas pruebas con los focos mencionados anteriormente y los resultados obtenidos se detallan a continuación.

**A. Halógeno H4**

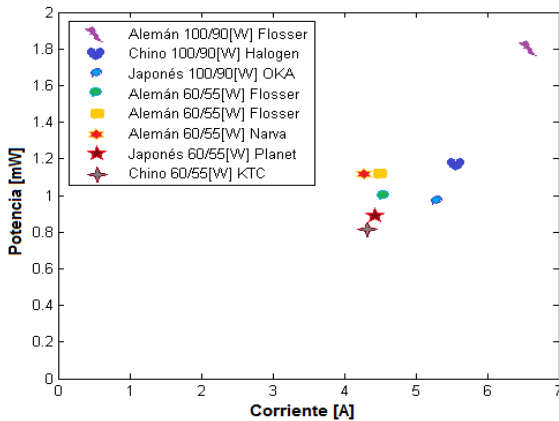


Fig. 4. Gráfica Potencia – Corriente de Halógenos H4.

En la Fig. 4 se observa que, los focos con una potencia eléctrica de 60/55[W], están alrededor de 4 y 5[A], y los de 100/90[W] como el chino y el japonés, alcanzan corrientes de entre 5 y 6[A], pero el alemán es el único de la misma potencia que estos últimos, que se acerca a la corriente teórica calculada anteriormente, con un valor de 6.53[A]. Con estos valores la potencia eléctrica calculada, los primeros focos alcanzan los 48/60 [W], 60/72[W] los segundos, y 78[W] para el tercero. Así se comprueba que, los únicos que están en el rango al que ofertan los vendedores, son los todos los focos de baja potencia; mientras que los de la alta potencia, no alcanzan

el valor indicado en las características de cada caja, el más cercano, que es el alemán, tiene un margen de error de 27.57%.

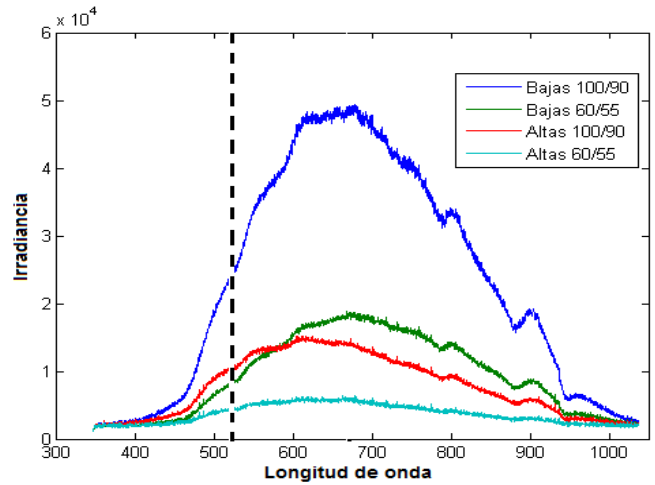


Fig. 5. Relación altas – bajas de foco alemán.

En la Fig. 5, se tiene una comparación de los focos alemanes correspondientes al mismo fabricante, pero con diferente potencia eléctrica como se muestra en la leyenda de la misma figura. El primer análisis es la observación de la excitación de los gases que los componen, únicamente observando las curvas que presentan, entonces, como se puede notar, al ser del mismo fabricante, la cantidad de picos y valles es la misma en todos, con una diferencia de amplitud.

Otra descripción interesante es que, como se observa en la leyenda, el espectro con mayor amplitud (color azul) corresponde a las luces bajas de alta potencia eléctrica, lo que indica que, haciendo referencia a la corriente, parámetro analizado en la Fig. 4, el espectro electromagnético aumenta a corrientes bajas y obviamente disminuye a altas, debido a la excitación de los gases que los componen, ya que unos necesitan más energía que otros. Esto queda comprobado al observar los valores de la potencia óptica medida con Molectron EPM 1000, y con la diferencia de flujo radiante que se observa entre luces altas y bajas.

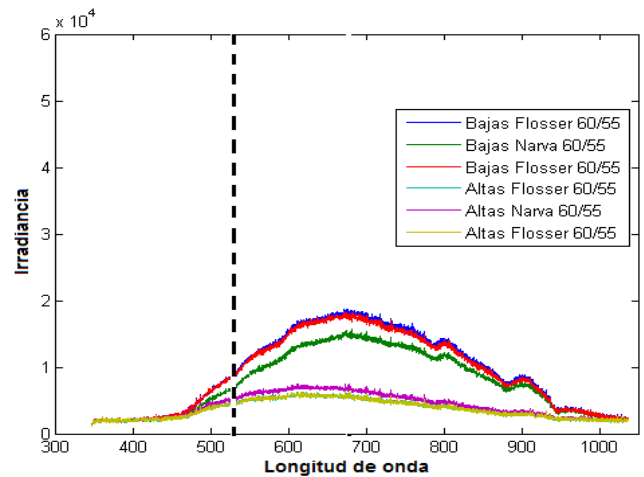


Fig. 6. Relación entre diferentes marcas alemanas.

Para la Fig. 6 se ha tomado dos focos de la misma marca y potencia para demostrar la validez del experimento y en base a estos datos, compararlo con el tercero, correspondiente a otra marca pero del mismo país fabricante (Alemania). Como se puede observar, los espectros de color azul y rojo están montados ya que tienen las mismas características de fabricante, ocurre lo mismo con las de color celeste y verde claro.

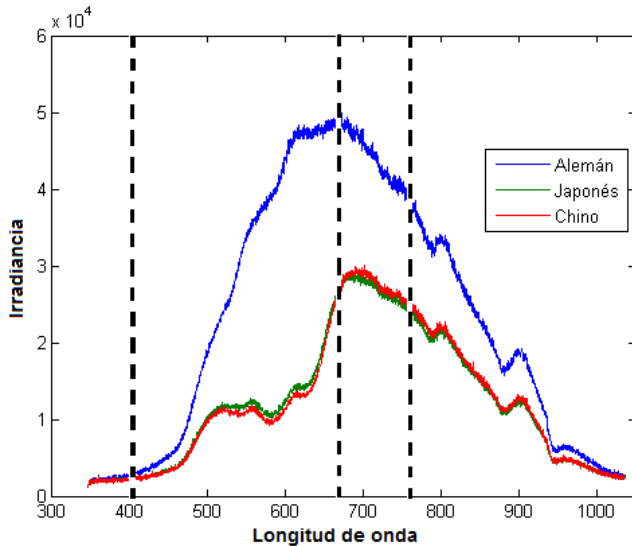


Fig. 7. Comparación entre diferentes procedencias.

La composición de gases entre los focos de procedencia japonesa y china es muy parecida, es por ello que los espectros de color rojo y verde que les corresponden como se observa en la leyenda de la Fig. 7 se superponen, y los picos y valles son iguales, además de su amplitud, lo que no sucede con el alemán, ya que en el rango de 500 a 675[nm] la excitación de los gases se da en diferentes concentraciones.

Otro factor a analizar, es respecto a la potencia eléctrica, ya que a pesar de que todos son de la misma (100/90[W]), el alemán tiene una amplitud mucho mayor a la de los demás.

La combinación de espectros para los 3 focos reproduce el color blanco que el ojo observa, pero no es puro, ya que la región que prevalece está en el rango del color azul que de todas maneras es diferente entre ellos, y afecta más. Como se observa en la Figura 70, el foco alemán es más dañino debido a que su dispersión de azul es mucho más elevada que la del chino, el cual alcanza un valor mayor en el rango del rojo, que según estudios con células del ojo, al exponerlas a colores azules, verdes y blancos se produce una disminución del número de éstas, pero con el rojo no hay diferencias significativas.

### B. LED

En el caso de los focos LED, se utilizaron diferentes tipos, LED H4, LED de tira y LED tipo uña, cada uno para diferentes usos en los vehículos.

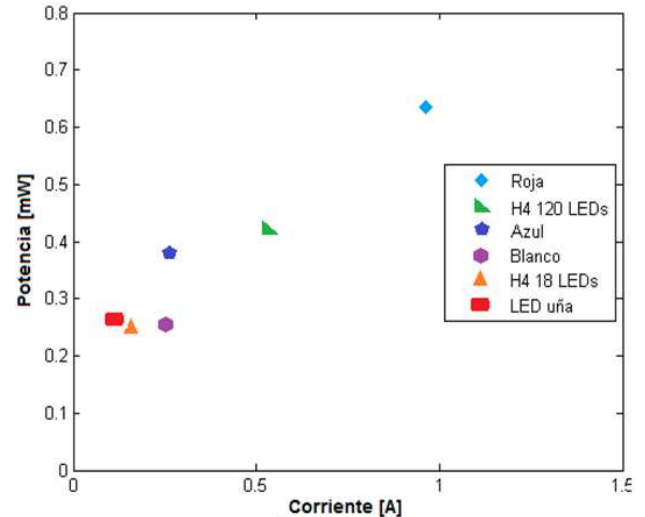


Fig. 8. Gráfica Corriente – Potencia de LED.

Se puede observar en la Fig. 8 que en el caso de todos los LED, el consumo de corriente de la tira de LED roja es la más elevada y por consecuencia se tiene potencia óptica intensa con respecto a los demás.

Los focos que se encuentran en un rango de corriente entre 0.10 y 0.4[A] son los que menor cantidad de LEDs poseen, en el caso del tipo uña, 8 LEDs y el H4 de 18 LEDs, para los de tira el color blanco y azul difieren del de color rojo que es el de corriente más alta, llegando a 1[A] debido a la composición de estos, GaP. Aquí se forma una unión p-n por el método de crecimiento epitaxial del cristal en un sustrato, por lo que su luminosidad se satura a altas densidades de corriente. [31]

El foco H4 de 120 LEDs que se encuentra en un rango intermedio entre todos los focos, 0.6[A], es debido a la cantidad de LEDs que debe alimentar. Estos focos no venden con características de potencia eléctrica establecida, pero los vendedores aseguran que su demanda no es muy alta debido a la baja iluminación que presentan en una carretera.

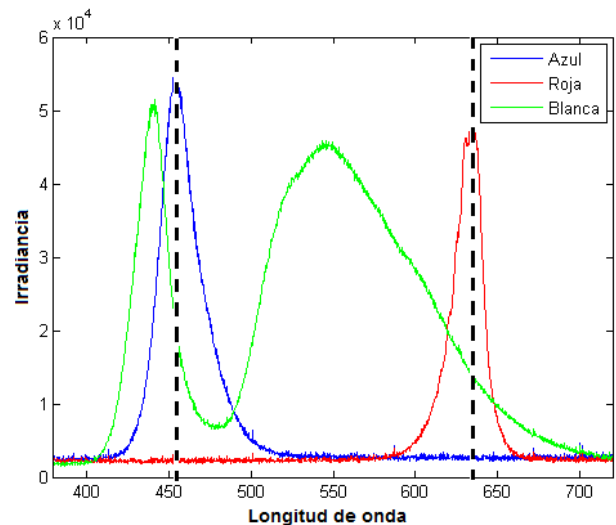


Fig. 9. Espectros de tira LED azul – roja – blanca.



En la Fig. 9 se tiene el espectro de los focos de tira, en sus espectros puros el azul y rojo y el blanco que es una combinación de otros espectros incluidos azul y rojo. En el caso del azul puro se observa un pico más alto que el pido del blanco, por esta razón en la Fig. 8, la potencia óptica del azul es más alta que la del blanco. En el caso del color rojo, su amplitud es mucho menor que la de los demás pero su pico se encuentra únicamente en su espectro correspondiente, en los demás presenta un valor nulo. El pico más alto del color blanco, se lo observa en los espectros correspondientes al color amarillo y verde, que en combinación con el pico del azul se obtiene el color blanco.

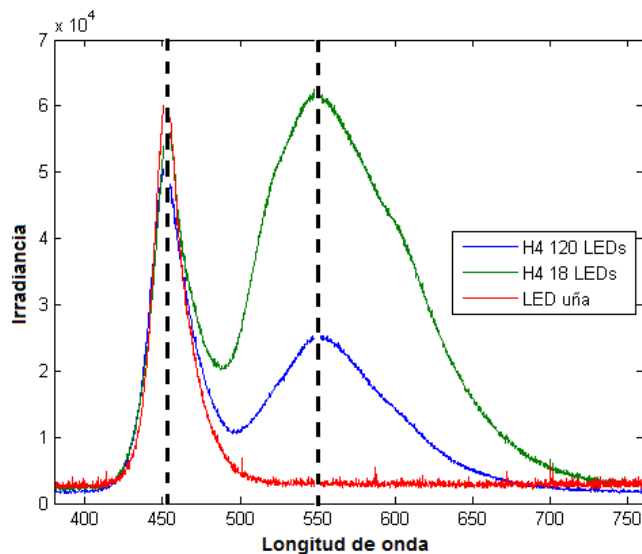


Fig. 10. Espectros de H4 y uña.

Una vez más, se puede observar en la Fig. 10, un pico de irradiancia bastante alto en el rango espectral del color azul, ya que el de uña es color puro. La de los H4 es menor, pero siguen la forma del color azul, e incluso se puede notar que el pico del H4 de 18 LEDs es más alto que el del H4 de 120 LEDs, por ello, al establecer la comparación con las figuras de los espectros de las halógenas H4, se observa que el azul de los LED es aproximadamente cinco veces mayor que el de aquellos, causando de esta manera mayores consecuencias en la salud.

Una diferencia clara se encuentra también en la amplitud de las H4 de 18 y 120 LEDs, al observar que la amplitud de los dos picos de éste último foco, son menores que las del primero pero en cuanto a irradiancia, más no en potencia óptica, ya que en la Fig. 8 se observa que es mayor la del H4 de 120 LEDs. Esto se debe al consumo de corriente que se había explicado anteriormente, ya que mientras más corriente consume, la amplitud del espectro electromagnético es menor y viceversa, debido a la cantidad de LEDs que tiene que alimentar el segundo foco.

## V. CONCLUSIÓN

Una correcta iluminación automotriz se lleva a cabo realizando los cálculos necesarios para conseguir un buen

diseño, que guiará a las condiciones adecuadas para que no afecte al conductor ni al medio ambiente.

Sin embargo, la falta de conocimiento acerca de este tipo de contaminación y las consecuencias, no permite su concientización, por lo tanto, las personas continúan deteriorando los ciclos naturales.

## REFERENCIAS

- [1] TRANSIT S.A. (24 de Octubre de 2013). <http://www.alltransit.org/>. Obtenido de [http://www.alltransit.org/htm/leyes\\_circulacion.php](http://www.alltransit.org/htm/leyes_circulacion.php)
- [2] López, L. P., & Pérez, S. M. (2008). Neuroanatomía. Madrid: Editorial Médica Panamericana.
- [3] Maestre, D. G. (2007). Ergonomía y psicología. Madrid: FC Editorial.
- [4] Dorremocha, C. H. (2010). Hágase la luz, mitos y realidad en la protección del cielo nocturno. *Revista Astrónoma* N° 129, 34-40.
- [5] Skoog, D. A., Crouch, S. R., & Holler, F. J. (2007). Principles of Instrumental Analysis. New York: Brooks/Cole.
- [6] Croft, T., Carr, C. L., & Watt, J. H. (1974). American electrician's handbook. New York: Mc Graw- Hill Book Company .
- [7] Gil, F. J. (2011). Manual del Permiso B. Madrid: Arisoft Editorial SA.
- [8] Lyytimäki, J., Tapiob, P., & Assmuth, T. (Julio de 2012). Unawareness in environmental protection. The case of light pollution from traffic. Helsinki, Helsinki: Elsevier.
- [9] Chepesiuk, R. (Septiembre- Octubre de 2010). Extrañando la oscuridad: los efectos de la contaminación lumínica sobre la salud. Cuernavaca, Morelos, México.
- [10] Rich, C., & Longcore, T. (2005). Ecological Consequences of Artificial Night Lighting. Washington, DC: Island Press.
- [11] Wu, J., Seregard, S., & Algvere, P. V. (Septiembre- Octubre de 2006). Survey of Ophthalmology. Photochemical Damage of the Retina. Estocolmo, Suecia: Elsevier.
- [12] CHAMORRO, E., BONNIN, C., LOBATO, L. L., NAVARRO, J. J., RAMÍREZ, G., NAVARRO, C., & SÁNCHEZ, C. (2012). Riesgos personales producidos por LEDs utilizados en dispositivos de uso cotidiano. *Seguridad y Medio Ambiente*, 36- 41.
- [13] Falchi, F., Cinzano, P., Elvidge, C., Keith, D., & Haim, A. (13 de Julio de 2011). Limiting the impact of light pollution on human health, environment and stellar visibility. *Journal of Environmental Management*. Estados Unidos: Elsevier.
- [14] Peña, J. M., Lozano, C., & Díaz, F. (2000). Grupo de trabajo 20: Contaminación lumínica. Madrid.
- [15] Taiz, L., & Zeiger, E. (2006). Volumen 10 de Ciencias experimentales. Castellón de la Plana: Universitat Jaume I.
- [16] Unión Internacional de Química Pura y Aplicada. Comisión de Fotoquímica. (1999). Glosario de términos usados en fotoquímica. Barcelona: Univ. Autònoma de Barcelona.
- [17] Hecht, E. (2000). Fundamentos de Física. International Thomson Editores, S. A. de C. V.
- [18] Gutiérrez, C. P., & Nieto, Á. L. (2006). Teledetección: nociones y aplicaciones. carlos perez.
- [19] Ferrer, J. F., & Carrera, M. P. (1981). Iniciación a la física, Volumen 2. Barcelona: Reverte.
- [20] Sabater, A. S. (1999). Fundamentos físicos para ingenieros. Valencia: Ed. Univ. Politéc. Valencia.
- [21] Tomasi, W. (2003). Electronic communications systems. Pearson Educación.
- [22] García, J. L. (1987). Sistemas de unidades físicas. Barcelona: Reverte.
- [23] Lázaro, A. M. (2000). LabVIEW 6i (Programación gráfica para el control de instrumentación). Madrid: Editorial Paraninfo.
- [24] Sánchez, J. G. (2009). Circuitos electrotécnicos básicos: sistemas de carga y arranque : electromecánica de vehículos. Madrid: Editorial Paraninfo.
- [25] Tipler, P. A., & Mosca, G. (2005). Física para la ciencia y la tecnología, Volumen 2. Barcelona: Reverte.
- [26] Coherent, Inc. (25 de 11 de 2013). Coherent Incorporated. Obtenido de Coherent Web Site: <http://www.coherent.com/Applications/index.cfm?fuseaction=Forms.page&PageID=116>

- [27] Coherent, Inc. (1 de December de 2004). Coherent Incorporated. Obtenido de Coherent Web Site: <http://www.coherent.com>
- [28] Moletron Detector, Incorporated. (21 de Septiembre de 1998). Coherent Inc. Obtenido de Coherent Web site: <http://www.coherent.com>
- [29] Fluke Corporation. (2013). Fluke Corporation. Obtenido de Fluke Web Site Ecuador: <http://www.fluke.com/fluke/eces/about/perfil-corporativo/default.htm>
- [30] Keithley Instruments Inc. (Mayo de 2002). Keithley Instruments Inc. Obtenido de Keithley Inc. Web site: [http://research.physics.illinois.edu/bezryadin/labprotocol/Keithley2400M anual.pdf](http://research.physics.illinois.edu/bezryadin/labprotocol/Keithley2400M%20anual.pdf)
- [31] Martín, J., Soriano, J. S., & Escobar, T. A. (23 de abril de 2007). Infoleds. Obtenido de <http://infoleds.wordpress.com>