



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LÁMPARA LED PARA EL CONTROL DE CARROCERÍA PINTADA EN EL SECTOR DEL AUTOMÓVIL

Dra. Ana Isabel Velasco ^(a), David Domínguez Amillano ^(b) Dra. Esther Guervos ^(c),

(a) Dra. por la Universidad Camilo José Cela. Licenciada en Ciencias Físicas. Universidad Alfonso X El Sabio. Tf. 918109165. Email: aivelfer@uax.es

(b) Ingeniero Mecánico. Universidad Alfonso X El Sabio

(c) Dra. por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de la UNED. Licenciada en Ciencias Físicas. Universidad Alfonso X el Sabio

RESUMEN

En las fábricas del sector del automóvil se lleva a cabo el proceso de control de calidad de la superficie de la carrocería de los vehículos, con el objetivo de realizar la comprobación de la superficie pintada del vehículo para asegurar una óptima calidad de acabado, simulando los reflejos o intensidad de luz en el exterior. En el proceso se detectan pulidos, rayas y otros defectos que a simple vista no son visibles. Con la luz aplicada y recorriendo la superficie se encuentran los defectos bajo un elevado estándar de calidad para ser posteriormente solventados.

La no detección de los defectos de superficie, aun siendo reducidos en relación al número total de vehículos producidos en las fábricas, supone una cantidad considerable de trabajo y costes, así como de pérdida de imagen para las marcas fabricantes, por lo que los defectos deben ser minimizados antes de que sean entregados a los clientes.

Actualmente para realizar el control de calidad de la superficie de la carrocería de vehículos se utilizan focos luminosos compuestos por lámparas de filamento. Dichas lámparas son pesadas ya que incorporan un transformador y disipan una gran cantidad de calor debido al filamento. La continua conexión y desconexión para llevar a cabo el control de la superficie del vehículo produce picos de tensión, que causan con frecuencia la rotura de la bombilla, averías en los focos y el consiguiente problema de interrupción del proceso de control de calidad, por la necesidad de reposición de la lámpara por parte del personal de mantenimiento.

Por ello, en este trabajo se diseña y fabrica una lámpara con tecnología LED para uso en el proceso de comprobación de la calidad de superficie de los automóviles, con los objetivos de que se aumente la calidad del proceso y la detección de defectos, que su coste sea reducido y que mejore la ergonomía del trabajador. Se han realizado una serie de prototipos, construyendo una herramienta que ha resultado más ligera, más cómoda para el operario, con menor mantenimiento y mejorando la aplicación de la luz que incide sobre la superficie a controlar, aumentando las premisas de calidad, de forma que se consigue reducir el consumo energético y evitar rupturas de proceso por averías.

PALABRAS CLAVE

Carrocería vehículo, lámpara LED, consumo energético



1. Introducción

Los led's (del acrónimo inglés LED, light-emitting diode, diodo emisor de luz) tienen la ventaja de poseer un tiempo de encendido muy corto (menor a un milisegundo) en comparación con las luminarias de alta potencia, como son las luminarias de alta intensidad de vapor de sodio, aditivos metálicos, halogenuro o halogenadas y demás sistemas con tecnología incandescente. Los diodos funcionan con energía eléctrica de corriente continua (CC), de modo que las lámparas de LED deben incluir circuitos internos para operar desde el voltaje de corriente alterna estándar (CA). Requiere por tanto de una corriente eléctrica más precisa y disipadores para gestionar el calor y no dañar la electrónica a altas temperaturas.

Cuando un led se encuentra en polarización directa, los electrones pueden recombinarse con los huecos en el dispositivo, liberando energía en forma de fotones. El color de la luz se determina a partir de la banda de energía del semiconductor. El área de un led es menor a 1 mm² pudiéndose usar como componentes ópticos integrados para formar su patrón de radiación.

Los leds de luz blanca son el objeto de nuestro prototipo, para sustituir las bombillas incandescentes/halógenos. Consumen aproximadamente un 90-92% menos y pueden durar hasta 20 años. Estas características convierten a los leds de luz blanca en una alternativa para la iluminación.

Las lámparas LED están compuestas por agrupaciones de leds, en mayor o menor número, según la intensidad luminosa deseada. Dado que la conexión es en serie, la lámpara entera consumirá la misma corriente que si conectamos un solo led a una fuente consiguiendo una importante reducción de consumo eléctrico.

Presentan ventajas, entre las que destacan su considerable ahorro energético, arranque instantáneo, aguante a los encendidos y apagados continuos y su mayor vida útil.

El Plan de Eficiencia Energética que aprobó la UE en 2011 incluye la Directiva Ecodesign 2009/125/CE formando parte de los objetivos 20-20-20 del paquete de energía y cambio climático 2020 de la UE. Plantea entre otras cosas la prohibición de la fabricación y posteriormente sobre la venta de lámparas halógenas. Fomenta e incentiva la adquisición de fuentes energéticas más eficientes con el fin de disminuir el consumo energético. Una alternativa a las lámparas halógenas son las lámparas fluorescentes compactas o la tecnología LED. Dicha normativa de eficiencia energética de la Unión Europea marca un calendario progresivo de eliminación de los principales modelos de mayor consumo, que empezó en septiembre de 2009 y culminó en septiembre de 2016, prohibiendo la fabricación de este uso de fuente energética.

En la fabricación de vehículos a motor se utilizan lámparas con filamentos halógenos en varios lugares del proceso, siendo uno de los más importantes el proceso de comprobación de la calidad superficial del vehículo. Se sitúa entre la entrega del vehículo a la comercial y el proceso de comprobación de estanqueidad que finaliza con la limpieza del vehículo mediante rodillos de limpieza. Es aquí dónde justo después se le somete a una inspección visual con la ayuda de focos. La inspección depende del estándar de calidad de cada marca que persigue más allá de la simple observación visual minimizar los pequeños defectos aún visibles con esta herramienta. Con lo expuesto, se precisa mejorar y sustituir la tecnología del foco actual que ha dado lugar al desarrollo de un foco LED.



Las principales características a mejorar de este foco halógeno son entre otras:

- disipa una gran cantidad de calor (luz emitida a través de los filamentos)
- riesgo de interrupción del proceso de verificación. El uso de esta herramienta de verificación se conecta y desconecta continuamente al paso de los vehículos en la cadena de producción. Los picos de tensión acaban dañando los filamentos, inutilizando la lámpara y por tanto el proceso
- alerta del personal de mantenimiento para sustituir las lámparas y no interrumpir el proceso de verificación
- disponer de un inventario de material de recambio en el almacén y su gestión
- impacto medioambiental generado por el consumo eléctrico y la emisión de CO₂
- incremento de gastos a la empresa si no se detectan defectos de superficie, reclamaciones por el cliente final y reparaciones
- marco regulatorio/legislación con plazos en los que se prohíbe la comercialización de lámparas halógenas
- generación de armónicos

2. Tecnología LED, su funcionamiento

El funcionamiento consiste en que en los materiales conductores, un electrón, al pasar de la banda de conducción a la de banda de valencia, pierde energía; esta energía perdida se manifiesta en forma de un fotón desprendido, con una amplitud, una dirección y una fase aleatoria. También se puede manifestar como otra forma de energía (calor por ejemplo) dependiendo del tipo de material semiconductor. Cuando un diodo semiconductor se polariza directamente, el/los hueco/s de electrón se mueven de la zona positiva hacia la zona negativa y de la zona negativa hacia la zona positiva; ambos desplazamientos de cargas constituyen la corriente que circula por el diodo.

Si los electrones y huecos están en la misma región, pueden recombinarse. Es decir, los electrones pueden pasar a "ocupar" los huecos "cayendo" desde un nivel energético superior a otro inferior más estable. Este proceso emite con frecuencia un fotón en semiconductores de banda prohibida directa ("direct bandgap") con la energía correspondiente a su banda prohibida. Esto no quiere decir que en los demás semiconductores, de banda prohibida indirecta ("indirect bandgap") no se produzcan emisiones en forma de fotones. Las emisiones son mucho más probables en los semiconductores de banda prohibida directa (como el nitruro de galio) que en los de banda prohibida indirecta (como el silicio).

La emisión espontánea, por tanto, no se produce de forma notable en todos los diodos y sólo es visible en diodos como los leds de luz visible, que tienen una disposición constructiva especial con el propósito de evitar que la radiación sea reabsorbida por el material circundante, y una energía de la banda prohibida coincidente con la correspondiente al espectro visible. En otros diodos, la energía se libera principalmente en forma de calor, radiación infrarroja o ultravioleta. En el caso de que el diodo libere la energía en forma de radiación ultravioleta, se puede conseguir aprovechar esta radiación para producir radiación visible mediante sustancias fluorescencia|fluorescentes o fosforescencia-fosforescentes que absorban la radiación ultravioleta emitida por el diodo y posteriormente emitan luz visible.

El dispositivo semiconductor está encapsulado en una cubierta de plástico de mayor resistencia que las de vidrio que usualmente se emplean en las lámparas incandescentes. Aunque el plástico puede estar coloreado, por razones estéticas, no influye en el color de la luz emitida. Un led es una fuente de luz compuesta con diferentes



partes.

Para obtener buena intensidad luminosa debe escogerse bien la corriente que atraviesa el led. Para ello hay que tener en cuenta que el voltaje de operación va desde 1,8 hasta 3,8 voltios aproximadamente y la gama de intensidad de corriente eléctrica-intensidades que debe circular por él varía según su aplicación. Los valores típicos de corriente directa de polarización de un led corriente están comprendidos entre los 10 y los 40 miliamperios (mA). En general, los leds suelen tener mejor eficiencia cuanto menor es la corriente que circula por ellos, con lo cual, en su operación de forma optimizada, se suele buscar un compromiso entre la intensidad luminosa que producen (mayor cuanto más grande es la intensidad que circula por ellos) y la eficiencia (mayor cuanto menor es la intensidad que circula por ellos).

Para conectar leds de modo que iluminen de forma continua, deben estar polarizados directamente (el polo positivo de la fuente de alimentación conectado al ánodo y el polo negativo conectado al cátodo). La fuente de alimentación debe suministrarle una tensión o diferencia de potencial superior a su tensión umbral. Se debe garantizar que la corriente que circula por ellos no exceda los límites admisibles, lo que dañaría irreversiblemente al led (con una resistencia R en serie con los leds).

La diferencia de potencial varía de acuerdo a las especificaciones relacionadas con el color y la potencia soportada.

En términos generales, pueden considerarse de forma aproximada los siguientes valores de diferencia de potencial:

* Rojo	= 1,8 a 2,2 voltios	* Verde	= 2 a 3,5 voltios
* Anaranjado	= 2,1 a 2,2 voltios	* Azul	= 3,5 a 3,8 voltios
* Amarillo	= 2,1 a 2,4 voltios	* Blanco	= 3,6 voltios

En corriente continua (CC), todos los diodos emiten cierta cantidad de radiación, cuando los electrones caen desde la banda de conducción (de mayor energía) a la banda de valencia (de menor energía) emitiendo fotones. Su color dependerá de las diferencias de energía entre las bandas de conducción y valencia.

Gracias a la invención de los leds azules se dió el paso al desarrollo del led blanco, led de luz azul con recubrimiento de fósforo que produce una luz amarilla.

3. Los armónicos

Se definen como tensiones o corrientes sinusoidales con frecuencias de múltiplos enteros de la frecuencia de suministro. Provocan pérdida de la forma de onda sinusoidal. Se producen además efectos directos e indirectos en la salud de las personas.

Efectos directos:

- Parpadeo:

Los balastos electrónicos generan armónicos que hacen que los tubos fluorescentes parpadeen más provocando fatiga visual en los ojos de las personas.

- Efecto flicker:

El ojo humano es capaz de diferenciar los cambios de imágenes que se producen a frecuencias superiores a los 24Hz. De la misma manera el cine trabaja a 24 fotogramas por segundo para que no se vea el cambio de un fotograma al siguiente. La mayoría de los sub-armónicos tienen frecuencias que son apreciables por el ojo humano de forma que las lámparas alimentadas con una



tensión que tenga componentes sub-armónicas producen un parpadeo perceptible por el ojo, y bastante molesto, que se denominada flicker. La máxima sensibilidad a este fenómeno del ojo humano está entre los 8 y los 10 Hz. Hay frecuencias en las que el flicker es molesto de forma inconsciente. Una exposición relativamente larga a un flicker inconsciente provoca mareos, también es un desencadenante de ataques de epilepsia en personas que sufren la enfermedad. La carga más sensible al flicker es la lámpara de incandescencia aunque en general, todos los sistemas de iluminación eléctrica presentan este fenómeno.

Efectos indirectos:

- Pérdida de productividad:
Como consumo energético repercutiendo en el coste del fijo del producto
- Generación de electricidad para los armónicos:
Hay centrales eléctricas que tienen que funcionar para generar la corriente eléctrica que se desperdicia con los armónicos, produciendo contaminación medioambiental e incluso de riesgo para la salud si la exposición es duradera.

Los armónicos producidos por la tecnología LED son, tanto en su distorsión armónica total de corriente, de tensión e interarmónica total, muy inferiores a otros tipos de dispositivos.

4. Diseño de la lámpara e inversión

La premisa inicial para el diseño de un nuevo foco basado en LED ha sido:

- fabricación mediante componentes homologados, certificación con marcado CE
- la lámpara resultante debe ser ergonómicamente ligera, manejarse con una mano
- debe reducir el impacto ambiental y contribuir a la filosofía "Think Blue. Factory", reduciendo el consumo eléctrico y las emisiones de CO₂ y no emitir/reducir el calor
- debe disminuir el mantenimiento preventivo/correctivo, tiempo por parte del personal de mantenimiento y mejora en cuanto a los repuestos y consumibles
- debe poder sustituirse cualquier elemento clave sin desmontar el aparato
- debe tener en cuenta tiempo/intervalos de conexión/desconexión de aproximadamente cada minuto las 24h/día)
- el diseño debe ser estéticamente agradable
- el coste de adquisición debe permitir un retorno de inversión (ROI) inferior a 3 años

Se han adquirido varios focos, comprobado que no cumplían con los requisitos y/o expectativas planteadas tomando la decisión de estudiar las posibilidades de construir el foco, inicialmente se plantea un prototipo, probando su funcionamiento y posteriormente fabricando las unidades necesarias para el proceso.

El resultado, mostrado en la Figura 1, ha sido muy positivo logrando el objetivo planteado con una mejora añadida consistente en que posibilita el intercambio de la fuente energética (haz de mayo potencial lumínica) sin tener que rediseñar la lámpara.



Figura 1. Foco inicial existente y “nuevo Foco”

Las claves de la lámpara han sido:

- diseño sencillo y ergonómicamente más funcional y cómodo para el operario
- innovador en cuanto a los elementos utilizados como son la fuente de luz blanca y el disipador de calor con aletas que refrigeran el sistema
- mejorando la aplicación de la luz que incide sobre la superficie a controlar y por ende en un aseguramiento del proceso en cuanto al estándar de calidad definido para el cliente
- elementos estándares para minimizar la inversión necesaria tanto a la hora de realizar la fabricación como para el posterior mantenimiento, piezas de recambio y menor inmovilizado de material en estocaje
- menor dependencia de mantenimiento (muy reducida)
- mejora del aspecto e impacto medioambiental al reducir el consumo energético, reduciendo las emisiones de CO₂
- mejora en cuanto al cumplimiento de las premisas de calidad para con el cliente final del producto
- diseño que permite un cambio de componentes de forma rápida y sencilla e incluso montar un haz con mayor potencia lumínica sin necesidad de inversión o modificación sustancial en la lámpara

Los resultados del balance de mejora e inversión necesaria por cada unidad de lámpara LED se muestran en la Tabla 1.

Tabla 2. Resumen de resultados en ahorros y cálculos de rentabilidad

Ahorros	por recambios	2.226	€/a
	por tiempo mantenimiento	1.200	
	energético	14,5	kWh/a
	emisiones en t CO ₂	0,006	t CO ₂
Cálculo de rentabilidad	Inversión necesaria	837,8	€/u
	ROI	<< 1 año	



5. Conclusiones

Se han conseguido todas las premisas marcadas inicialmente, mejorando incluso la capacidad de la detección de posibles fallos superficiales y disminuyendo el riesgo de reclamaciones de los clientes finales con el consiguiente ahorro por reparaciones, al disponer de una calidad de haz de luz mayor a la hasta entonces implantada.

Los tiempos de preventivo o correctivos para el personal de mantenimiento se han disminuido drásticamente así como el gasto en consumible y estocaje.

Se ha logrado mejorar la ergonomía del puesto de trabajo para los operarios, en el que una parte de la carga de trabajo se realiza por encima de la altura de los hombros y que preventivamente se considera gravoso.

La inversión necesaria para la sustitución de los útiles existentes no ha presentado problema en sentido de justificar el retorno de la inversión al recuperar la inversión de forma inmediata.

La innovación ha permitido así mismo adelantarse a las fechas de la Directiva 2009/125/CE por el que se retiran la posibilidad de adquirir en el mercado lámparas halógenas.

En el momento en que se presenta esta comunicación a CONAMA 2016, se está estudiando la posibilidad de iniciar los trámites para el registro del modelo de utilidad o patente si diera lugar, como herramienta útil para la detección de defectos superficiales sobre superficie pintada en la industria del sector del automóvil.

6. Bibliografía

Directiva 2009/125/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, 21 de octubre de 2009

A.Rocio Gil de Castro, Tesis Doctoral “Estudio y caracterización de la calidad de suministro eléctrico en los de sistemas de alumbrado”, UCO, Junio 2012

http://energytel.info/portal_telecom/articulos-tecnicos/37-sistemas-de-proteccion/85-efectos-y-consecuencias-de-los-armonicos. Última visita 17 octubre 2016

www.camarazaragoza.com/wp-uploads/2012/10/calculoemisiones.xls. Última visita 17 octubre 2016

http://www.oksolar.com/led/led_color_chart.htm. Última visita 17 octubre 2016