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

ESTUDIO TÉCNICO-ELECTRÓNICO DE LA EFICIENCIA DE FUENTES DE LUZ LED Y FUENTES DE SODIO EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

Edison Alberto García Correa

Ingeniería Electrónica

Director del trabajo de grado

Juan Sebastián Botero Valencia

INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO

10/07/2015

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

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

RESUMEN

En el presente estudio se espera demostrar y dar a conocer, desde la electrónica, los elementos que hacen la tecnología LED más eficiente con respecto a la convencional de sodio, por medio de la adquisición y procesamiento de los datos arrojados por los elementos electrónicos de una luminaria LED, con el fin de mostrar técnicamente su eficacia (lúmenes/watts), en comparación con una luminaria que contiene una fuente de luz (bombilla) de sodio. Lo anterior se llevó a cabo realizando las prácticas de medición de las variables de los elementos electrónicos usados para las pruebas como el chip LED y el driver que suministra la corriente de funcionamiento necesaria al chip, así mismo a los elementos que componen la luminaria de fuente de luz de sodio. Realizando las pruebas de medición a los elementos mencionados se obtienen los resultados esperados de acuerdo a lo propuesto, debido a la practicidad del driver electrónico que alimenta los módulos LED y del chip LED como tal ya que es su aprovechamiento de la energía suministrada por el driver la que hace la diferencia con respecto a otras fuentes de luz. Gracias a las nuevas tecnologías desarrolladas en el campo de la electrónica se puede contar con opciones de trabajo más amigables con el medio ambiente y generar ahorros energéticos y económicos.

Palabras clave: Eficacia, Flujo luminoso, Retilap, Potencia, Consumo.

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

RECONOCIMIENTOS

En el presente trabajo debo reconocer el apoyo de la empresa en la cual laboro, CELSA SAS, ya que prestó los elementos necesarios para realizar los procesos de medición planteados en los objetivos, en el período de formación académica debo agradecer a todos los profesores que aportaron y compartieron sus conocimientos en las distintas áreas que componen la carrera electrónica, al asesor del presente trabajo Juan Sebastián Botero por su colaboración y confianza en el proceso, a mi familia por el constante apoyo brindado para no decaer en el camino, y especialmente a mi esposa quien soportó y compartió conmigo gran parte de la formación académica con los pesares y alegrías que nos entrega éste y todos los retos que tomamos en nuestras vidas.

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

ACRÓNIMOS

RETILAP (2010) Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público

SAP Sodio Alta Presión

M4 Tipo de vía vehicular cuya velocidad de tránsito de 30 Km/h aproximadamente

Fotometría Medición de cantidades asociadas con la luz

Diagrama polar Gráfica que representa en coordenadas polares la distribución de las intensidades luminosas en planos definidos.

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

TABLA DE CONTENIDO

ESTUDIO TÉCNICO-ELECTRÓNICO DE LA EFICIENCIA DE FUENTES DE LUZ LED
 Y FUENTES DE SODIO EN EL ALUMBRADO PÚBLICO

1. INTRODUCCIÓN

2. MARCO TEÓRICO.....

3. METODOLOGÍA

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

REFERENCIAS

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

1. INTRODUCCIÓN

Debido a que en nuestra cotidianidad las horas nocturnas se han convertido en espacios tan importantes como las horas diurnas, para realizar las distintas actividades cotidianas debemos contar con ciertos índices de seguridad, esto se lleva a cabo si podemos obtener muy buenos niveles de visibilidad la cual será proporcionada en la medida que las áreas que ocupemos estén bien iluminadas, como es sabido no somos los únicos actores en las áreas mencionadas ya sean vía vehiculares o espacios de ocupación peatonal, por lo que al iluminar estas áreas para nuestros beneficios debemos también tener en cuenta la vida silvestre que nos rodea y que al estar iluminada directamente puede verse afectada en su funcionamiento de vida de manera normal. Además debido al crecimiento poblacional en el mundo el cual demanda un consumo energético demasiado grande se busca por medio de avances tecnológicos dar respiro a estos excesos, y así todo lo que tenga que ver con ahorros energéticos se debe tener en cuenta en nuestros proyectos.

La iluminación de alumbrado público de vías vehiculares y espacios comunes es uno de los factores que más consumo tiene en el mundo, para esto fines en el momento se cuentan con fuentes de luz de vapor de mercurio y sodio alta presión debido a su eficiencia, aunque en ciertas partes del mundo ya se han realizado pruebas piloto de iluminación LED con buenos resultados, existen también detractores a los que no les termina de convencer la idea debido a los costos y prestaciones del LED. En el presente proyecto se pretende dar a conocer las prestaciones del LED en una instalación y determinar sus ventajas y desventajas en costos y funciones electrónicas con respecto a una fuente de luz de Sodio equivalente.

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

OBJETIVOS

General

Adquirir y procesar los datos arrojados por los elementos electrónicos de una luminaria LED con el fin de mostrar técnicamente su eficacia (lúmenes/watts), en comparación con una luminaria de sodio, y con base en lo anterior mostrar el ahorro generado en una instalación específica y el periodo de recuperación de la inversión.

Específicos

Adquirir las señales de los elementos electrónicos de la luminaria LED, tales como el driver y el chip LED, para describir su funcionamiento y la ventaja con respecto a otras fuentes de luz como el sodio.

Realizar una comparación de consumo en una instalación específica y mostrar su tiempo de recuperación de la inversión determinando su factibilidad.

Organización de la tesis

En el inicio del proyecto se acude al apoyo de la empresa la cual prestará los elementos de su propiedad tanto de sodio como de LED para realizar la toma de medidas respectivas, una vez se tenga claro cuáles son los elementos disponibles y necesarios para el estudio se procede a dar una breve descripción de ellos teniendo en cuenta sus fichas técnicas.

Las mediciones respectivas se harán en la misma empresa debido a políticas de privacidad de la misma, pero se cuentan con los equipos necesarios para realizarlas.

Una vez se recolecten todos los datos se procederá a analizarlos y tabularlos en cuadros comparativos ya que son la herramienta más dicente para este tipo de estudios o pruebas. Además se realizará un diseño básico de iluminación con las dos fuentes y finalmente se hará un comparativo financiero de acuerdo al diseño realizado para ver más claramente los ahorros energéticos generados al usar LED.

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

2. MARCO TEÓRICO

El objetivo de las instalaciones de alumbrado público es proveer a los usuarios de la vía, tanto conductores de vehículos automotor como peatones, la seguridad visual necesaria para transitarla, seguridad visual que le permita reaccionar ante cualquier obstáculo o anomalía que se presente. La fuente de luz usada para estos efectos ha sido por mucho tiempo el vapor de mercurio, ésta fuente se ha venido reemplazando por fuentes de vapor de sodio, pero últimamente se está teniendo en cuenta los adelantos tecnológicos en la electrónica para este campo, y es como aparece el LED y su impacto positivo en el medio ambiente y sus prestaciones en el ahorro energético, ya que es una tecnología altamente eficiente debido a las características de los elementos electrónicos que componen las luminarias LED.

Desde el punto de vista electrónico, lo que hace más eficiente la fuente LED con respecto a la fuente de sodio son dos elementos, uno es que los chips LED se fabrican con la protección necesaria y establecida en las normas de alumbrado público vigentes (RETILAP), lo que hace que no sea necesario en la mayoría de los casos usar un difusor como en las luminarias de sodio ya que éstas son bombillas que no pueden estar expuestas sin protección y al contener reflectores para la distribución de luz y difusores ya sea de vidrio o policarbonato, que son los más usuales, se presentan los fenómenos de reflexión y refracción y calentamiento lo que hace que toda la energía generada por la bombilla no sea totalmente útil para el objetivo de iluminación ya que se presentan pérdidas por los fenómenos mencionados, y el segundo es que el chip LED es alimentado por un elemento llamado driver el cual permite variar los rangos de corriente para alimentar el chip de acuerdo a la necesidad específica del caso, y como no es necesario agregar difusores toda la energía o flujo luminoso generado por el chip se convierte en flujo útil, además de lo anterior, el driver tiene una propiedad de dimerización, la cual permite disminuir la corriente entregada al chip según la necesidad, esto se refleja en que

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

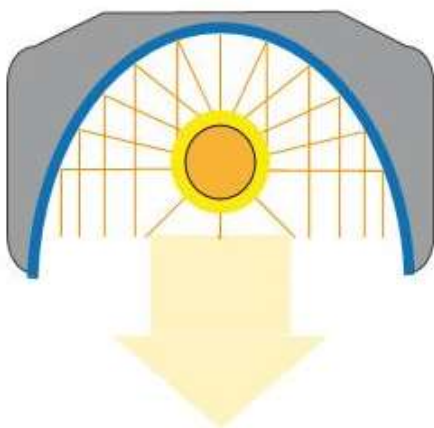
las vías de alumbrado público tienen más flujo vehicular en ciertos horarios así que se puede obtener una iluminación menor en horarios que no sean tan críticos y así obtener menos consumo de potencia en una misma instalación, lo anterior no se puede realizar con las fuentes de sodio o mercurio. Hasta ahora se han conocido varios estudios sobre el ahorro que genera usar una fuente de luz LED y el impacto generado, pero se ha tenido poco énfasis un estudio específico en el ámbito del alumbrado público y especialmente en un cambio de fuente de luz en una instalación específica. En el portal web de Cel Fosc, una organización independiente que busca por medio de artículos de autores profesionales en el área influir en la sociedad y reducir la contaminación y mejorar el alumbrado público, se han publicado artículos referentes al tema, como por ejemplo “La iluminación con LED y el problema de la contaminación lumínica” publicado en 2011 por Carlos Herranz Dorremochea, (físico y presidente la asociación Cielo Oscuro), Josep M^a Ollé Martorell, (profesor asociado de Luminotecnia en la Universitat Rovira i Virgili.) y Fernando Jáuregui Sora, (astrofísico en el Planetario de Pamplona.), en el mencionado artículo se realiza un estudio y reflexión sobre la contaminación del alumbrado público en las noches, desde el punto de vista de la ineficiencia de las fuentes existentes y la sugerencia del uso del LED. Otro estudio relacionado al tema fue el publicado en la Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, redalyc.org, en su publicación número 39 en mayo del 2012, en la que se toma el tema de comparación específica de las características de una bombilla de sodio de 250w y 70w convencional y 2 módulos LED equivalentes en flujo luminoso, para justificar el cambio de tecnología basados en la diferencia del consumo energético de ambas fuentes. Un tercer estudio relacionado al presente tema se encontró en el portal de la Universitat de València, España, en la cual para diciembre del 2012 varios profesores de la misma institución publicaron una fuerte crítica a la iluminación generada por LED, en la que se menciona la contaminación generada por la mencionada fuente de luz a la bóveda celeste y las consecuencias que generan en la flora y la fauna las longitudes de onda de ésta fuente, ya que se tiene una percepción de luz más intensa que con las fuentes convencionales, aunque la crítica tiene

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

buenos fundamentos esto se reflejaría en un reemplazo uno a uno en cualquier instalación lo que no es recomendable, ya que lo que se busca es usar menos luminarias y menos potencias y para eso se realiza un estudio que consta de un diseño de iluminación en el que se determinará las mejores condiciones de la nueva instalación, además que se cuenta con que las fotometrías o diagramas polares de las luminarias LED tienen un enfoque de iluminación más preciso y con menos desperdicio que conllevaría a iluminar solo las áreas deseadas y así respetar los espacios naturales y que se conserven normalmente en las horas de la noche. En el presente proyecto además del estudio de los elementos electrónicos mencionados, se realizará el diseño de iluminación de una instalación específica para determinar las mejores condiciones de la nueva instalación.

Las diferencias entre las dos fuentes radican desde la construcción hasta su uso final, y es que debido a las características de la fuente de sodio, en este caso la bombilla, claramente generan desperdicio de luz ya que emite luz en todas las direcciones lo que la hace ineficiente ya que no tendrá toda la energía generada enfocada al área a iluminar, mientras que gracias a la construcción del Led todo el flujo generado puede ser dirigido directamente a el área destino.

Luminaria de lámpara de vapor de sodio



Luminaria LED

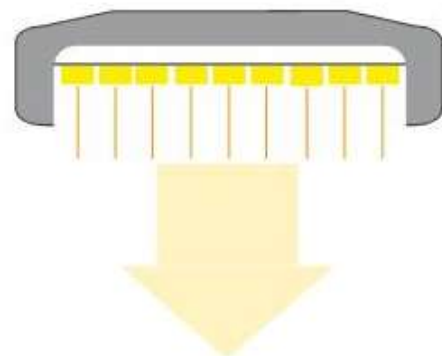


Figura1. Representación gráfica de emisión de flujo luminoso generado por las fuentes

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

El uso de una bombilla de sodio requiere un reflector el cual se encarga de tratar de dirigir la mayor parte de flujo que pueda hacia el área objetivo mediante interreflexiones del haz de luz, lo que hace que se pierda intensidad en los mismos dando como resultado que el flujo útil disminuya considerablemente.

Lo anterior se ve claramente en los resultados de las medidas realizadas en donde se observa las diferencias en flujo luminoso útil generado y entregado por cada fuente de luz. Debido a que los LED trabajan en DC deben de tener un acondicionador que convierta la señal AC a DC, además de disminuir y mantener el voltaje para el correcto funcionamiento de los LEDs lo que garantizará el flujo lumínico adecuado, el acondicionador también deberá asegurar muy buena eficacia o cero pérdidas de energía, lo que es medible por el valor de factor de potencia (PFC o Power factor Correction), además de permitir la graduación de la corriente a suministrar a los LEDs, procedimiento conocido como dimerizaje, todo lo anterior lo realiza el equipo llamado Driver el cual se convierte en un elemento importante para garantizar el buen funcionamiento del módulo LED.

Además de las etapas de rectificadores, filtros y PWM el driver tiene una entrada adicional de voltaje de 1v a 10v por la cual se permite realizar el proceso de dimerizaje, funcionando de tal forma que si se configura con 10v el driver entregará el máximo de su corriente, 700mA o 100% para nuestro caso, o si se configura a 5v entregará alrededor del 60% de la capacidad total y así proporcionalmente dependiendo de la necesidad de la instalación. Ésta es una herramienta muy útil a la hora de generar ahorro energético en horas que no se necesite el total de la potencia de las luminarias a usar.

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

0-10V Dimming

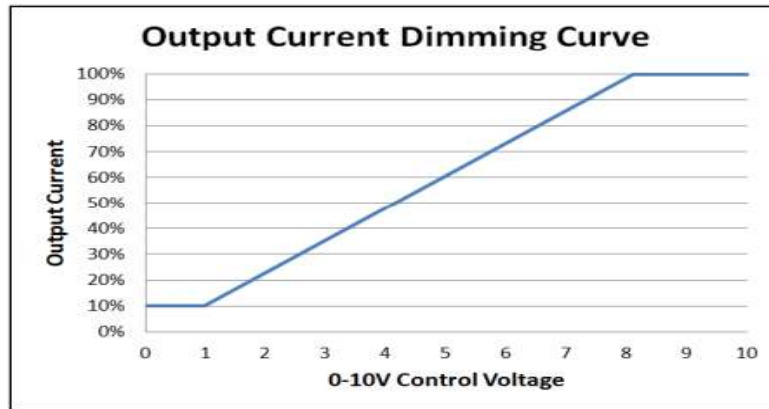


Figura 2. Comportamiento de salida de corriente en función del voltaje de entrada-función de dimerizaje en el Driver. Tomada de la ficha técnica del driver Everline <http://unvlt.com/pdf/specsheets/D700C150UV10F.pdf>

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

3. METODOLOGÍA

Para alcanzar los objetivos propuestos inicialmente se procede a obtener la información de los elementos a usar tales como las fichas técnicas y hojas de datos del fabricante de los módulos LED, los driver, los balastos, las bombillas y las carcasas o chasis que completan las luminarias LED y sodio respectivamente, en el RETILAP se especifica como luminaria a todos los aparatos de iluminación que filtran y/o distribuyen la luz que emiten las fuentes luminosas, esto con el fin de dar un indicio de cuáles son los resultados que se deben obtener en las mediciones de cada uno de los elementos mencionados. Una vez se tiene el conocimiento de funcionamiento y características de dichos elementos se procedió a evaluarlos de la siguiente manera:

Se identificaron todos los elementos de las luminarias de ambas fuentes de luz, y se listan a continuación:

FUENTE DE LUZ	ELEMENTO	CARACTERISTICAS	FABRICANTE
LED	MODULO O ARREGLO DE LEDs	MÓDULO O MATRIZ DE 16 CHIP DE LEDs CON OPTICA DE ALUMBRADO PÚBLICO QUE CONFORMAN UN MODULO DE 35W DE CONSUMO DE POTENCIA EN DC	VOSSLOH
	DRIVER	DRIVER ELECTRONICO DE 700mA ALIMENTADO DE 0v A 10v Y QUE ENTREGA EL 0% O EL 100% DE CORRIENTE AL MODULO LED	EVERLINE
	CHASIS (VEGALED)	CHASIS EN ALUMINIO INYECTADO QUE SIRVE PARA ALOJAR EL MODULO Y DE DISIPADOR DE CALOR DEL MISMO	CELSA
SODIO	BOMBILLA SAP 70W	BOMBILLA TUBULAR DE SODIO ALTA PRESION REFERENCIA SON T PIA PLUS CONJUNTO OPTICO	PHILLIPS
	CONJUNTO ELÉCTRICO	BALASTO, ARRANCADOR, CONDENSADOR	INADISA
	REFLECTOR	CUBIERTA EN ALUMINIO CON ALGUNAS ESTRIAS PARA DIRECCIONAR EL FLUJO LUMINOSO EMITIDO POR LA BOMBILLA	CELSA
	CHASIS (ZEUS)	CHASIS EN ALUMINIO EN EL QUE SE ALOJA EL CONJUNTO ELECTRICO Y OPTICO	CELSA

Tabla 1. Características de elementos a medir

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

SODIO	LED
Bombilla 70w Na	Arreglo de Leds 35w
	
Conjunto eléctrico 70w Na	Driver 700 mA
	
Luminaria Zeus 70w NA	Luminaria Vegaled 35w
	

Tabla 2. Fotos reales de los elementos medidos

Lo evaluado para las dos fuentes fueron los parámetros eléctricos y electrónicos que permitieron realizar la comparación de eficiencia entre las dos. Debido a que los elementos fueron prestados pero no estaba permitido su uso fuera de las instalaciones de CELSA, solo se pudo realizar dichas mediciones dentro de las instalaciones de la misma, la cual cuenta con los elementos propios de medición como Osciloscopios y multímetros suficientes para realizar los procedimientos de medición mencionados.

Procedimiento de medición

- Se instala la luminaria de referencia VEGALED en el fotogoniómetro el cual nos arrojará los resultados de flujo lumínico y fotometría, con la luminaria montada en

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

el equipo y usando un multímetro convencional se procede a tomar las medidas de voltaje y corriente en las borneras de alimentación del driver y luego en la entrada del módulo LED, el valor de consumo de potencia se toma del analizador de potencia con que cuenta el laboratorio, esto con el fin de tener un valor más preciso teniendo en cuenta las pérdidas generadas.

- Se instala la luminaria de referencia ZEUS en el fotogoniómetro el cual arroja los resultados de flujo lumínico y fotometría respectiva, usando el multímetro se procede a tomar las medidas en las borneras de alimentación del conjunto eléctrico y luego en las borneras del socket o portaloza que aloja la bombilla de 70w sodio igual que en el procedimiento anterior se toma el valor de consumo de potencia se toma del analizador de potencia con que cuenta el laboratorio, esto con el fin de tener un valor más preciso teniendo en cuenta las pérdidas generadas.

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

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se tomaron primero las medidas de los elementos que componen la luminaria LED. Se realizaron las medidas de voltaje y corriente de entrada y salida a los módulos que contienen los chip LED y a los driver, esto con el fin de plasmar la información obtenida en un cuadro comparativo en donde se confronte los datos obtenidos de los elemento de LED y los de sodio a los que se les midió voltaje y corriente de entrada y salida. Todos los procedimientos de medición fueron realizados teniendo en cuenta las hojas de datos de los fabricantes de los driver, módulos LED, bombillas y balastos. Cada módulo de LED es un arreglo de varios chips LED, el chip es fabricado por NICHIA, empresa China y los módulos son ensamblados en VOSSLOH Alemania, la cual le agrega a los chips la óptica que permitirá la dispersión deseada de la luz emitida por los chips.

Para los componentes de las luminarias de fuente de sodio se tomó la bombilla de 70W fabricada por Phillips, y el conjunto eléctrico compuesto por balasto, arrancador y condensador que son fabricados por la empresa colombiana INADISA.

En la siguiente tabla se observa los valores obtenidos en la medición de cada elemento de las dos fuentes de luz.

FUENTE DE LUZ	ELEMENTO MEDIDO	PARAMETRO MEDIDO	VALOR	UNIDADES
LED	DRIVER 700 mA	VOLTAJE EN LA ENTRADA	220	V AC
		VOLTAJE EN LA SALIDA	47.4	V DC
		CORRIENTE DE ENTRADA	0.175	AMP
		CORRIENTE DE SALIDA	0.700	AMP
	MODULO LED 35W DC	VOLTAJE EN LA ENTRADA	47.4	V DC
		CORRIENTE DE ENTRADA	0.700	AMP
SODIO	CONJUNTO ELÉCTRICO	VOLTAJE EN LA ENTRADA	220.8	V AC
		VOLTAJE EN LA SALIDA	96	V AC
		CORRIENTE DE ENTRADA	0.443	AMP
		CORRIENTE DE SALIDA	0.900	AMP
	BOMBILLA SAP 70W	VOLTAJE EN LA ENTRADA	96	V AC
		CORRIENTE DE ENTRADA	0.900	AMP

Tabla 3. Valores obtenido en la medición

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

En la siguiente tabla se puede observar el flujo luminoso que entrega cada fuente de luz, y cuanto de él es útil para el objetivo final de iluminar el área deseada.

LUMINARIA DE LED							
VARIABLE DE ALIMENTACION			VARIABLE DE SALIDA			FLUJO LUMINOSO GENERADO Mod Leds	FLUJO LUMINOSO ÚTIL LUMINARIA
VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	LÚMENES	LÚMENES
220 vac	0.175 amp	37.2w	47.4 vdc	0.700 amp	33.18 w	4005 Lm	4005 Lm
LUMINARIA DE SODIO							
VARIABLE DE ALIMENTACION			VARIABLE DE SALIDA			FLUJO LUMINOSO GENERADO Bombilla	FLUJO LUMINOSO ÚTIL LUMINARIA
VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	VOLTAJE	CORRIENTE	POTENCIA	LÚMENES	LÚMENES
220.8 vac	0.443 amp	83.4 w	96 vac	0.900 amp	71.5 w	6400 Lm	5132 Lm

Tabla 4. Valores de flujo luminoso obtenido para cada luminaria

Se puede observar que el flujo generado por la fuente de sodio es mayor, pero que debido a las pérdidas por fenómenos de calor y refracción el flujo útil aunque sigue siendo mayor que el de LED es muy parecido a este por lo que se pueden alcanzar niveles lumínicos similares con el LED usando alrededor de la mitad de la potencia, lo que hace más eficiente el LED ya que por definición del RETILAP se toma como eficiencia la relación de del flujo luminoso emitido por la luminaria sobre el emitido por la bombilla o fuentes de luz dentro de ella, gracias a que los chips LED poseen la protección IP solicitada por los reglamentos no necesita difusor de vidrio el cual puede generar pérdida de flujo de manera que todo la intensidad generada por el chip es la entregada al área, de esta forma se tiene un 100% de eficiencia del LED, además también según el RETILAP en su definición de eficacia (Lum/Watts), lúmenes generados por vatio consumido, claramente se observa que el LED es una fuente de mayor eficacia, como lo muestra la siguiente tabla:

FUENTE DE LUZ	FACTOR DE POTENCIA	EFICIENCIA	EFICACIA
SODIO	0.900	80.19%	61.53
LED	0.970	100.00%	107.66

Tabla 5. Eficacia alcanzada en cada fuente de luz

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

Luego de recopilar la información de las variables de los elementos se procede a realizar un diseño de iluminación con estos datos en una instalación específica de reemplazo de fuentes de luz de alumbrado público de sodio por LED, ejercicio real realizado en algunas calles del barrio Las Esmeraldas de la ciudad de Popayán llevado a cabo durante el primer semestre del año 2015, y en el que se usaron las luminarias de referencia VEGALED de 35W, referenciadas en el presente documento. Con ayuda del software de uso gratuito de simulación de iluminación llamado Litestar Version 10 se realiza el diseño de iluminación que determina las mejores condiciones de instalación de las luminarias LED con el fin de cumplir los niveles solicitados.

El área a iluminar es una vía vehicular de tipo M4 clasificada por el RETILAP de acuerdo a su uso en velocidad de circulación y flujo vehicular, la instalación de sodio consta de 139 luminarias de 70W Sodio que serán reemplazadas por las luminarias de 35W LED obteniendo un ahorro energético importante, a continuación se muestran las características de instalación:

PARAMETROS DE INSTALACIÓN	
ALTURA DE MONTAJE	6m
BRAZO	1.5m
INTERDISTANCIA	30m
ANCHO DE VÍA	7m -2 CARRILES

Tabla 6. Parámetros de instalación en la vía vehicular

De acuerdo al RETILAP se relaciona los niveles sugeridos para el tipo de vía evaluados, en la siguiente tabla se evidencia que ambas fuentes de luz cumplen lo solicitado por la norma.

NIVELES	SUGERIDOS POR RETILAP	LUMINARIA SODIO	LUMINARIA LED	RESULTADO
Iluminancia (Lx)	12 Lx	14 Lx	13 Lx	CUMPLE
Uniformidad (Uo)	25 Uo	25 Uo	28 Uo	CUMPLE

Tabla 7. Niveles lumínicos para tipo de vía M4

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

ILUMINACIÓN SODIO						
CANTIDAD	LUMINARIA	POTENCIA	PERDIDAS	CONSUMO TOTAL	VALOR CONSUMO UNITARIO	CONSUMO TOTAL
139	Zeus	71.5 W	11.9 W	83.4 W	83.4 W	11592 W
ILUMINACIÓN LED						
CANTIDAD	LUMINARIA	POTENCIA	PERDIDAS	CONSUMO TOTAL	VALOR CONSUMO UNITARIO	CONSUMO TOTAL
139	Vegaled	33.18 W	4.02 W	37.2 W	37.2 W	5170 W

Tabla 8. Valores de consumo de cada fuente de luz

Es clara la diferencia de consumos de las dos fuentes de luz, lo que representa un ahorro energético del **44.6%** aproximadamente usando luminarias con tecnología LED, lo que demuestra su eficacia con respecto a la fuente de sodio.

Para demostrar el ahorro económico se debe realizar el estudio financiero en el cual se debe tener en cuenta la inversión inicial de la implementación de las dos fuentes de luz además de los costos de operación, mantenimiento y consumo de cada una, todo lo anterior de acuerdo al capítulo 6 del RETILAP. A continuación se presentan las tablas de la evaluación financiera.

COSTOS INICIALES LED				
Item	CARACTERÍSTICAS	Cant	Costo unitario	Costo Total
LUMINARIA 1	LED 35W	139	\$ 650.000	90.350.000
	Subtotal luminarias			90.350.000
TOTAL COSTOS INICIALES				90.350.000
COSTOS INICIALES INCLUIDO IVA			0,16	104.806.000

Tabla 8. Costo inversión inicial tecnología Led. Valores comerciales suministrados por

CELSA SAS

COSTOS INICIALES SODIO				
Item	CARACTERÍSTICAS	Cant	Costo unitario	Costo Total
LUMINARIA 1	ZEUS 70W	139	\$ 139.000	19.321.000
	Subtotal luminarias			19.321.000
TOTAL COSTOS INICIALES				19.321.000
+IVA		0,16		22.412.360

Tabla 9. Costo inversión inicial tecnología Sodio. Valores comerciales suministrados por

CELSA SAS

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

A continuación se referencian los valores de costo de mantenimiento y uso de la instalación valores reales de consumo.

CONDICIONES PARA LA EVALUACIÓN FINANCIERA	LED	SAP
HORAS ENCENDIDO X DÍA (1 a 24)	12	
DÍAS X SEMANA (1 a 7)	7	
TASA DE INTERÉS PARA CALCULAR EL VALOR PRESENTE (%)	14,00%	
PRECIO Kw/h (\$)	\$ 360	
COSTO MANTENIMIENTO POR LUMINARIA (\$)	\$ 21.080	\$ 21.080
FRECUENCIA DE MANTENIMIENTO (VECES POR AÑO)	1	
HORIZONTE DE EVALUACIÓN DEL PROYECTO (AÑOS)	30	
AUMENTO ANUAL ESTIMADO PARA LOS REPUESTOS (%)	3,60%	
AUMENTO ANUAL ESTIMADO EN EL COSTO DE LA ENERGÍA (%)	3,80%	
TRM	2500,00	

Tabla 10. Condiciones y valores de mantenimiento para la evaluación financiera

Para realizar el cálculo del retorno de la inversión se debe tener en cuenta las formulas mencionadas en el capítulo 6 del RETILAP donde relaciona el cálculo del CAO Costo anual de operación, Costo anual uniforme equivalente, VPN Valor presente neto y los costos iniciales.

INDICADOR	LED	SAP
VP (COSTOS ADMIN OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO ANUALES)	\$ 184.703.358,74	\$ 591.373.534,16
COSTOS INICIALES (INCLUYEN IVA)	\$ 104.806.000,00	\$ 22.412.360,00
VALOR DE SALVAMENTO	\$ -	\$ -
VALOR PRESENTE NETO DE LOS COSTOS DEL PROYECTO	\$ 289.509.358,74	\$ 613.785.894,16
COSTO ANUAL UNIFORME EQUIVALENTE	\$ (41.342.745,29)	\$ (87.650.340,55)
AÑO DE RECUPERACIÓN INV. INI X AHORRO DE ENERGÍA	2	

Tabla 11. Indicadores necesarios para determinar tiempo de retorno de inversión

AÑO	0	1	2	3	4
CONSUMO DE ENERGIA LED	\$ 104.806.000	\$ 9.075.222	\$ 9.420.080	\$ 9.778.043	\$10.149.609
CONSUMO DE ENERGIA SAP	\$ 22.412.360	\$ 59.215.825	\$ 61.466.027	\$ 63.801.736	\$ 66.226.202
DIFERENCIA EN COSTOS INICIALES - CONSUMO DE ENERGÍA	\$ (82.393.640)	\$ 50.140.603	\$ 52.045.946	\$ 54.023.692	\$ 56.076.592
COSTOS INICIALES - DIFERENCIA EN CONSUMO		\$(32.253.036)	\$ 19.792.910	\$ 73.816.602	\$ 129.893.195
AÑO DE RECUPERACIÓN DE LA INV. INICIAL	2	2			

Tabla 12. Evaluación de consumo a 4 años

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADO</p>	Código	FDE 089
		Versión	03
		Fecha	2015-01-22

Como se observa en las tablas la recuperación de la inversión al implementar la tecnología Led es de solo 2 años lo que lo hace un proyecto viable teniendo en cuenta el periodo de recuperación tan bajo para la magnitud del proyecto.

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

5. CONCLUSIONES, RECOMENDACIONES Y TRABAJO FUTURO

- Realizando las medidas de las variables de los elementos a usar se encuentran grandes diferencias de construcción y funcionamiento de los mismos, lo que evidencia el gran aporte del desarrollo tecnológico al campo del alumbrado público, esto conforma una alternativa de implementación atractiva para las empresas de servicios públicos con el fin de generar ahorros energéticos importantes.
- Al adquirir, tabular y analizar las señales y medidas obtenidas se puede observar que debido a los bajos consumos requeridos por el LED para su buen funcionamiento lo hace más eficiente frente a la fuente de sodio ya que por construcción requiere más potencia para alcanzar flujos luminosos parecidos a los obtenidos por el LED.
- En la práctica de comparación económica de acuerdo al diseño de reemplazo de tecnología sodio por LED, se visualiza que aunque la propuesta LED es más alta en inversión inicial, ésta tiene un período de recuperación muy atractivo ya que en solo dos años se estaría cubriendo la inversión y de ahí en adelante los consumos serán mínimos generando mucho más ahorro que si se hubiera implementado la tecnología de sodio.
- Trabajos como el presente se puede complementar a futuro realizando estudios sobre sistemas de tele gestión los cuales pueden generar aún más ahorro energético al realizar reducciones de suministro de corriente al módulo LED, proceso conocido como dimerización e implementados en horarios de poca afluencia vehicular.

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

REFERENCIAS

RETILAP, (2010), Reglamento técnico de Iluminación y Alumbrado Público, Bogotá Colombia.

Carlos Herranz Dorremocha, Josep M^a Ollé Martorell y Fernando Jáuregui Sora, 2011, LA ILUMINACIÓN CON LED Y EL PROBLEMA DE LA CONTAMINACIÓN LUMÍNICA, Cel Fosc, 144, 36-42.

Hugo Andrés Macías Ferro, Yesid Fernando Ramos Gonzalías, Yuri Uliyanov López, 2012, Estudio de los beneficios del cambio de bombillas de sodio de alta presión por diodos emisores de luz de alto brillo, Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal, 39, 12-18.

Universitat de València, La Universitat adverteix de la contaminació lumínica generada per la il·luminació de leds blancs, <http://www.uv.es/uvweb/universitat/es/lLista-noticies/universitat-adverteix-contaminacio-luminica-generada-enllumenat-leds-blancs-1285846070123/Noticia.html?id=1285869034643>, citado el 25 febrero de 2015.

<http://celsa.com.co/index.php/es/>

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

Edison García Correa
#1 368 271

FIRMA ESTUDIANTE

FIRMA ASESOR JUAN SE

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA COMITÉ TRABAJO DE GRADO DE LA FACULTAD _____

RECHAZADO___ ACEPTADO___ ACEPTADO CON MODIFICACIONES___

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____

FIRMA CONSEJO DE FACULTAD _____

ACTA NO. _____

FECHA ENTREGA: _____