



ISMMM

INSTITUTO SUPERIOR MINERO
METALURGICO DE MOA
DR. ANTONIO NUÑEZ JIMENEZ

**Ingeniería Eléctrica
Facultad: Metalurgia
Electromecánica**

Trabajo de Diploma

**En opción al Título de
Ingeniero Eléctrico**

**Eficiencia energética del sistema de
alumbrado público del municipio de Moa**

Autor: Mohamed Islem Abdalahi Mohamed Chej

Tutores: M. Sc. Gabriel Hernández Ramírez

Ing. Yetsy Silva Cala

Consultante: Ing. Samuel Pineda Machado

**Moa, Holguín
Junio del 2015
Año 57 de la Revolución**

Declaración de Autoría

Declaro ser el único autor del presente trabajo de diploma y reconozco al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” y al Departamento de Eléctrica los derechos patrimoniales del mismo, con carácter exclusivo.

Para que así conste firmamos la presente a los ____ días del mes de _____ de 2015.

Mohamed Islem Abdalahi Mohamed Chej

Firma Autor

M. Sc. Gabriel Hernández Ramírez.

Firma Tutor

Ing. Yetsy Silva Cala

Firma Tutor

Pensamiento

La eficiencia energética y el ahorro de energía, constituyen el eje central de esta primera etapa del nuevo paradigma energético cubano.

Fidel Castro Ruz.

Dedicatoria

Aprovecho esta ocasión para dedicar mi Trabajo de Diploma con todo mi corazón, amor y cariño.

A mis padres Maity y Abdalahi por todo el sacrificio y esfuerzo para llegar hasta aquí.

A mis abuelos Mohamed Lamin, Nuain Abdallah, Kaltum y Gala.

A mis hermanos Anhubuha, Jadija, Said, Omar y los pequeños, tíos Deid, Salek, Ambarka, Slamu, Hamdi, Kanana, Said, Aziza y otros por su apoyo y cariño incondicional.

A una persona muy especial en mi vida que me ha aconsejado y comprendido siempre, durante estos últimos difíciles años de la carrera Salima.

A mi tutor, esposa e hijos que han sido como mi familia durante todo este tiempo de la carrera Gabriel, Lili, Gabito y Carlito.

A mis amigos y hermanos en Cuba que me han soportado, ayudado y acompañado durante mi carrera Yanetsis, Yetsis, Yahimari, Roberto, Jorge, Adis, Claudia, Alenny, Dianelis, Dilber, Adelki, Marlen, Indira, Yuli, Dunia, Ray, Isidoro, Yainelis, Frank, José, Michel, Yohana y otros.

A mi país.

Agradecimientos

La gratitud es uno de los sentimientos más hermosos de la vida, por ello quiero corresponder de todo corazón a aquellas personas que hicieron posible de una u otra forma la realización y culminación de este trabajo de diploma, estándoles eternamente agradecidos a:

Mis tutores Gabriel Hernández, Samuel Pineda y Yetsy Silva.

A Lili Rojas, Salima y Yanetsis Chacón.

A los profesores que me impartieron clases durante la carrera.

A la revolución Cubana por permitirme formar como profesional.

Resumen

El presente trabajo titulado "Eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Moa", aborda varios temas relacionados con las características, usos y tipos de elementos utilizados en los sistemas de alumbrado viario, con la finalidad de establecer una correcta iluminación previendo siempre, que se tenga en cuenta la protección del hombre y su entorno natural, la contaminación lumínica, la economía y la confiabilidad del sistema.

Se realiza una gran explicación en cuanto a usos, tipos y rendimiento de las lámparas y luminarias, así como los diferentes métodos a utilizar a la hora de realizar los cálculos para la iluminación de un área determinada.

Además se caracterizaron los sistemas de iluminación viaria, haciendo énfasis en la determinación de los problemas existentes, lo cual exige la realización de la presente tesis de grado.

Se plasma de manera concreta la solución del problema con la variante de tecnología LEDS, así como recomendaciones a seguir para mantener los resultados obtenidos en la proyección del nuevo sistema de iluminación.

Summary

The present work titled "Energy Efficiency of the system of illumination public of the municipality of Moa", it approaches several topics related with the characteristics, uses and types of elements used in the systems of having lit road, with the purpose of establishing a correct illumination always foreseeing that one keeps in mind the man's protection and their natural environment, the light contamination, the economy and the dependability of the system.

He is carried out a great dissertation as for uses, types and yield of the lamps and stars, as well as the different methods to use when carrying out the calculations for the illumination of a certain area.

The systems of illumination road were also characterized, making emphasis in the determination of the existent problems, that which demands the realization of the present grade thesis.

It is captured in a concrete way the solution of the problem with the technology variant LEDS, as well as recommendations to continue to maintain the results obtained in the projection of the new system of illumination.

Índice de contenido

Introducción.....	1
Capítulo I: Fundamentación Teórica	5
1.1. Introducción	5
1.2. Fundamentación Teórico – Metodológica del trabajo	5
1.3 Revisión de los trabajos precedentes.	5
1.4 Base Teórica de la Investigación	8
1.4.1 Definiciones	¡Error! Marcador no definido.
1.4.2 Metodos de cálculo	¡Error! Marcador no definido.
1.5. Conclusiones	17
Capítulo II Descripción de los sistemas de alumbrado	19
2.1 Introducción.	19
2.2 Caracterización del Sistema de Alumbrado que se utiliza en la actualidad.	19
2.2.1 Características técnicas de las lámparas	19
2.3 Diagnóstico del sistema de iluminación instalado	25
2.4 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema de alumbrado actual.¡Error! Marcador no definido.	
2.5. Conclusiones.	36
Capítulo III.....	37
Propuesta para reducir el consumo energía.....	37
3.1 Introducción.	37
3.2. Propuesta para reducir el consumo de energía.	37
3.3 Ahorro de energía al mejorar el sistema de alumbrado.¡Error! Marcador no definido.	
3.4 Descripción de nuevos Equipos de Iluminación..... ¡Error! Marcador no definido.	
3.5 Valoración económica.....	48
3.5.1 Cálculos de Ahorro y Tiempo de Recuperación de la Inversión¡Error! Marcador no definido.	
3.6 Conclusiones.	52
Conclusiones Generales.....	53
Recomendaciones.....	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía.....	55
Anexos	76

Introducción

Actualmente, expresiones como “cambio climático”, “Protocolo de Kyoto”, son cada vez más frecuentes en medios de comunicación y en la sociedad en general. También forman parte del discurso de los políticos de muchas naciones. Efectivamente, la sociedad está cada vez más preocupada por el cambio climático que nos está afectando y, sobre todo, por sus consecuencias directas; períodos de extrema sequía, seguidos de grandes inundaciones, huracanes y otras catástrofes de origen climático. El cambio climático está directamente relacionado con el “efecto invernadero”, provocado por las altas tasas de emisión de determinados gases a la atmósfera, principalmente de CO₂, relacionado directamente con la generación y consumo de energía eléctrica en gran medida. En países industrializados, se estima que el 35% de los recursos energéticos primarios se utilizan en la producción de energía eléctrica y esto es la causa directa del 30% de las emisiones de CO₂. Hay que resaltar que el 15% del consumo energético en estos países se utiliza en iluminación. Por otra parte, el desarrollo del bienestar social está directamente relacionado con el consumo energético y, al ritmo de crecimiento actual, se plantean dudas acerca de la posibilidad de abastecimiento de energía en un futuro no muy lejano. Se hace necesario pues, el desarrollo de legislaciones y actuaciones que limiten o inviertan estas tendencias para conseguir un desarrollo sostenible: La búsqueda de fuentes de energía limpias y el uso racional y eficiente de la energía.

La iluminación en general y el alumbrado público en particular, nos proporcionan la oportunidad de adoptar medidas para el ahorro y eficiencia energética, aplicando técnicas simples que describiremos más adelante. Haciendo referencia al alumbrado público, nos podemos apoyar en el siguiente argumento: a determinadas horas de la noche, disminuye el tráfico rodado de vehículos y de peatones en las vías públicas. En esta situación, disminuyen también las necesidades de unos determinados niveles de iluminación preservando los requisitos de seguridad vial establecidos a condición de mantener la uniformidad del alumbrado.

En el sistema de alumbrado público del municipio de Moa, ha implementado algunos procedimientos de mantenimiento del sistema de iluminación, enfocados solamente hacia al ámbito correctivo; es así que en un determinado período de tiempo se encargó a determinados grupos de trabajo la realización de estos procedimientos a tres áreas

definidas, estas labores incluyeron el cambio de elementos dañados, limpiezas de difusores, etc., sin que de los mismos se haya llevado un adecuado seguimiento o control de arreglo por luminaria, ni una oportuna evaluación, dificultando una adecuada planificación y conllevando a gastos innecesarios, por cambios repetitivos de elementos que todavía se encuentran dentro de su vida útil. Sin embargo, hasta la presente fecha no se ha considerado la implementación de procedimientos apropiados de mantenimiento preventivo; todo esto por la falta de una política general de mantenimiento de dicho sistema. En cuanto a la energía consumida por las luminarias, por la tecnología disponible hasta hace algunos años en el país, tiene instaladas en su sistema de iluminación luminarias de sodio alta presión de 150W, 250W y en algunos casos luminarias con un sistema de potencia constante durante su funcionamiento, sin que estas nos hayan permitido discriminar momentos en los cuales es posible reducir la potencia de las luminarias sin afectar los niveles de uniformidad requeridos, conllevando a un desperdicio de energía y a una ineficiencia luminosa por lo que son consideradas de tecnología obsoleta y totalmente ineficiente. El ahorro energético, mantenimiento preventivo y la eficiencia lumínica dará como resultado la aplicación de la reducción de carbono, al dejar de emitir CO₂ por la generación térmica de energía eléctrica en iluminación pública, contribuyendo con la preservación del medio ambiente.

La implementación de procedimientos para un mantenimiento preventivo de luminarias puede garantizar que acciones, tales como: reemplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc. sean hechas en períodos de tiempos determinados, logrando beneficios tales como:

- Reducción de fallas y tiempos muertos, ya que si se tiene muchas fallas que atender se tiene menos tiempo para dedicarle al mantenimiento programado, se estará utilizando un mantenimiento reactivo que por el apremio es mucho más costoso
- Incremento de la vida de los equipos e instalaciones, si se tiene buen cuidado con los equipos puede ayudar a incrementar su vida.
- Mejora la utilización de los recursos, incrementando la utilización de maquinaria, equipo e instalaciones disponibles; logrando trabajos de calidad.
- Reduce los niveles del inventario, al tener un mantenimiento planeado puede reducir los niveles de existencias de las bodegas
- Ahorro económico, tanto para la empresa como para los usuarios en general.

SITUACIÓN PROBLÉMICA:

La instalación de Alumbrado Público del municipio no cumple con el objetivo fundamental de proporcionar durante las horas carentes de luz natural, de forma eficiente y económica, una iluminación suficiente, que ofrezca la máxima seguridad tanto al tráfico vehicular como a los peatones, facilitando la seguridad y el orden durante la noche y brindando un aspecto atractivo durante la noche y el día.

FORMULACIÓN DEL PROBLEMA:

El servicio de alumbrado público del municipio de Moa, es deficiente, lo que conlleva inseguridad en los transeúntes, pérdidas económicas por la baja eficiencia energética.

OBJETO DE LA INVESTIGACIÓN:

Alumbrado público.

CAMPO DE ACCIÓN:

Eficiencia energética.

OBJETIVO GENERAL:

1. Elaborar un programa de modernización y mantenimiento del sistema de alumbrado público del municipio con la utilización de la tecnología Led.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:

1. Analizar los estados del arte de sistema de iluminación pública y su eficiencia, que sirvan de base teórica para la investigación.
2. Determinar los niveles de iluminación del sistema de alumbrado público y comparar los niveles con la Normas vigentes.
3. Proponer una mejor alternativa tecnológica para lograr un mayor nivel de iluminación al existente con la máxima eficiencia y un mínimo costo operativo.

HIPÓTESIS:

Si se logra caracterizar el sistema de iluminación pública teniendo en cuenta la eficiencia, eficacia y efectividad, se podrán proponer alternativas tecnológicas que cumplan con las normas de iluminación.

TAREAS:

1. Caracterización del estado actual del problema.
2. Elaboración de la fundamentación teórico-metodológica.
3. Confección del cálculo de los índices de iluminación y comprobación de las normas existentes.
4. Comprobación de los niveles de Iluminación con los valores de las normas internacionales.

Capítulo I: Fundamentación Teórica



1.1. Introducción

El objetivo de este capítulo es desarrollar el basamento teórico que se pretende exponer en el presente trabajo, basado en el paradigma crítico propositivo, ya que presenta alternativas coherentes de investigación, cuestionando los esquemas tradicionales de la investigación y planteando alternativas de solución en un espacio proactivo. Además se determinan como tipos de investigación la cuantitativa, porque recoge datos estadísticos del centro urbano y cualitativo, porque la información procesada será sometida a análisis e interpretaciones.

1.2. Fundamentación Teórico – Metodológica del trabajo

La formulación del problema, la justificación o necesidad de la realización de cualquier trabajo que se realice y su propuesta, son elementos que deben tenerse en cuenta en su fundamentación teórica. Se recurrirá a una modalidad de investigación de campo, fuentes de información válida y confiable de las vías principales, sitio donde se visualiza la implementación de tecnología Leds, eficiencia luminosa y eficacia lumínica.

1.3 Revisión de los trabajos precedentes

En este epígrafe pretendemos analizar la evolución de las lámparas, luminarias y los tratamientos dados por diferentes especialistas y empresas encargadas en la producción y comercialización.

Cuando se habla de la seguridad que el servicio de alumbrado público debe prestar, rápidamente lo asociamos a la reducción o incremento de actos delictivos sobre las personas o sus bienes en función de la cantidad de puntos de luz o niveles de iluminación. Aquí hay que diferenciar muy bien dos tipos de cuestiones, una es la seguridad propiamente dicha y la otra es la sensación de seguridad del usuario

La seguridad propiamente dicha se refiere a la cantidad real de actos delictivos denunciados o detectados mediante encuestas (en aquellos casos donde exista el miedo a la denuncia) que se cometen en zonas con mayor o menor nivel de iluminación. Queda

demostrado, por distintos estudios que se vienen realizando desde la década del 70' hasta la actualidad y ejecutados a lo largo de todo el mundo que los niveles de iluminación o el incremento de puntos de luz no tienen incidencia alguna sobre la cantidad de actos delictivos

“Enviro Smart” (Smart, 2006), es un claro ejemplo de proyecto de gran envergadura (Experiencia seleccionada en el Concurso de Buenas Prácticas patrocinado por Dubai en 2004, y catalogada como BEST). El mismo fue realizado en Canadá, con el objetivo de disminuir la polución ambiental producida por los sistemas de generación de energía por combustión de hidrocarburos. Basado en la reducción de las potencias en los puntos de luz (250 a 100W en calles residenciales locales y 250 a 150W en vías principales) en un total de 37.500 luminarias, el programa obtuvo resultados más allá de los esperados. Con un minucioso análisis por parte de la compañía contratada sumada al informe de la Policía quedó demostrado que no se ha experimentado un aumento en la cantidad de actos delictivos cometidos.

La reducción de emisión de gases tóxicos a la atmósfera (medida en toneladas / año) alcanzó el 22,5% después del proyecto. El ratio de ahorro monetario asciende a 1.7 millones de dólares por año. Otros estudios recientes realizados por el departamento de criminología de la Universidad de Cambridge en Inglaterra (Smart, 2006) estiman una reducción de un 20% en actos delictivos por la mejora en sistemas de iluminación, los autores concluyen que las mejoras sólo fueron detectadas en sitios experimentales y se deben acompañar con proyectos sociales de parte del estado.

Manuales

Manual de electricista. Una empresa Axa conductores Monterrey.

Manual de Alumbrado (1986). Este material constituye una guía para la realización de los cálculos de alumbrado para exteriores y conceptos luminotécnicos, suministrando los conceptos y métodos necesarios. Representa una herramienta imprescindible en la realización del trabajo.

Manual de procedimientos (1999). Este trabajo constituye una guía metodológica para el proyectista eléctrico, puesto que recoge la información necesaria para la aplicación de una metodología de sistemas de alumbrado, pero no tiene en cuenta los aspectos de contaminación luminosa, afectaciones al medio ambiente, la iluminación natural y eficiencia energética.

Documentos

Masorra, Jironella (1986). Este documento nos da a conocer los métodos de iluminación y de cálculos utilizados en los sistemas de iluminación. También plantea una metodología.

Ferrero Andréu, LI, (1999). Celma, A, Rodríguez, F, (1999). Ferreiro-Mazon, P. (1995). San Martín, R; Aubert, V, (2001). Arrastia, Ávila, M, (2001). En estos documentos se muestra una amplia caracterización sobre la problemática de la contaminación lumínica a nivel internacional y nacional, permitiendo un estudio de la misma, para determinar las posibles medidas a tener en cuenta a la hora de proyectar un sistema de alumbrado exterior. También sirvió como herramienta para determinar los diferentes métodos de iluminación y de cálculo a utilizar en cualesquier lugar, áreas exteriores y otras.

Conferencias

Conferencia del Comité Electrónico Cubano (1997). Estas conferencias proporcionaron una actualización integral de cómo se maneja el tema a nivel nacional e internacional, en materia de historia de la iluminación, economía, medio ambiente, desarrollo de fibras ópticas, contaminación lumínica, descargas, entre otros. Paralelamente representó el punto de partida para el análisis económico-ambiental.

Publicaciones.

Equipos auxiliares para lámparas de descarga. Antonio Vela Sánchez, Juan José Garrido Vázquez. En esta publicación se hace énfasis en todos los equipos a utilizar en el trabajo de las lámparas de descargas.

Sistema eléctrico para lámparas de descarga. Antonio Vela Sánchez, Juan José Garrido Vázquez. En esta publicación se caracteriza el sistema eléctrico y los componentes principales de las lámparas de descarga.

Jesús Feijó Muñoz: Instalaciones de iluminación en la arquitectura. Ed: Secretariado de publicaciones, Universidad de Valladolid. Esta publicación presenta las normas de construcción e instalación de la iluminación en los proyectos arquitectónicos.

Trabajos de diplomas

Análisis del Sistema de iluminación Viaria del municipio Moa 2005. Yunier Cabrera, Delroy George. Este trabajo de diploma en opción al título de ingeniero eléctrico presentó el

análisis y propuesta de mejora del sistema de alumbrado de las avenidas principales del municipio Moa.

Eficiencia de los sistemas de iluminación Moa 2002. Odalis Robles Laurencio. Este trabajo de diploma en opción al título de master en ciencia trata de explicar de cómo lograr una iluminación exterior eficiente mejorando el factor de potencia de las instalaciones de alumbrado.

1.4. Base Teórica de la Investigación

Debido a la gran cantidad de factores que intervienen en la iluminación de vías públicas (deslumbramiento, características de los pavimentos, condiciones meteorológicas, etc.) y en la percepción de estas, el cálculo del alumbrado público ha sido siempre una tarea muy compleja. Por ello, en un principio los cálculos se enfocaron a determinar unas condiciones de iluminancia sobre la calzada que proporcionaran una buena visibilidad dentro de los márgenes establecidos por los organismos competentes. A medida que se fue desarrollando la informática y aumentaron las capacidades de procesamiento de datos, los cálculos se fueron orientando hacia la determinación de luminancias. Esto no hubiera sido posible sin la existencia de ordenadores que permiten ejecutar y aplicar los métodos de cálculo numérico en un tiempo razonable.

Así pues, podemos agrupar los métodos en:

- Cálculo de iluminancias
- Método de los lúmenes o del factor de utilización
- Métodos numéricos. El método de los nueve puntos
- Cálculo de luminancias

Método de los lúmenes o del factor de utilización

La finalidad de este método es calcular la distancia de separación adecuada entre las luminarias que garantice un nivel de iluminancia medio determinado. Mediante un proceso iterativo, sencillo y práctico, se consiguen unos valores que aunque no son muy precisos, sí sirven de referencia para empezar a aplicar otros métodos (LED GENERATION, WWW.SHEREDER.COM).

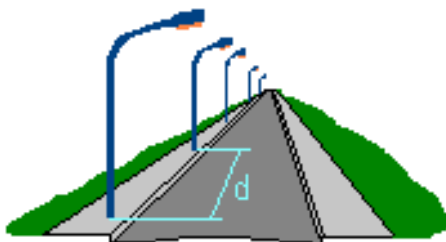


Figura N°1.1: Distancia en la vía

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques:

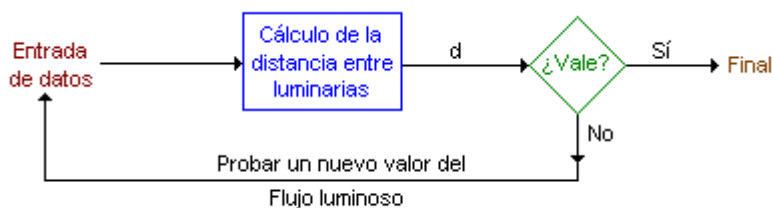


Figura N°1.2: Diagrama

Datos de entrada

- Determinar el nivel de iluminancia media (E_m). Este valor depende de las características y clase de pavimento, clase de vía, intensidad del tráfico, etc. Como valores orientativos podemos usar:

Tabla N°1.1: Tipos de vía e Iluminación

Tipo de vía	Iluminancia media (lx)	Luminancia media (cd/m ²)
A	35	2
B	35	2
C	30	1.9
D	28	1.7
E	25	1.4

- Escoger el tipo de lámpara (vapor de mercurio, sodio...) y la altura de montaje necesarias sin exceder el flujo máximo recomendado en cada intervalo.

Tabla N°1.2: Flujos recomendados

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$3000 \leq \Phi_L < 10000$	$6 \leq H < 8$
$10000 \leq \Phi_L < 20000$	$8 \leq H < 10$
$20000 \leq \Phi_L < 40000$	$10 \leq H < 12$
≥ 40000	≥ 12

- Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre la anchura de la calzada y la altura de las luminarias.

Tabla N°1.3: Relación de alturas

Disposición	Relación anchura/altura
Unilateral	≤ 1
Tresbolillo	$1 < A/H \leq 1.5$
Pareada	> 1.5

- Determinar el factor de mantenimiento (f_m) dependiendo de las características de la zona (contaminación, tráfico, mantenimiento...). Normalmente esto es difícil de evaluar y se recomienda tomar un valor no superior a 0.8 (habitualmente 0.7).

Tabla N°4: Características de luminarias por vías

Características de la vía	Luminaria abierta	Luminaria cerrada
Limpia	0.75	0.80
Media	0.68	0.70
Sucia	0.65	0.68

- Calcular el factor de utilización (η).

El **factor de utilización** es una medida del rendimiento del conjunto lámpara-luminaria y se define como el cociente entre el flujo útil, el que llega a la calzada, y el emitido por la lámpara.

$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L} \quad (1.1)$$

Normalmente se representa mediante curvas que suministran los fabricantes con las luminarias. Estas curvas podemos encontrarlas en función del cociente anchura de la calle/altura (A/H), la más habitual, o de los ángulos γ_1 , γ_2 en el lado calzada y acera respectivamente.

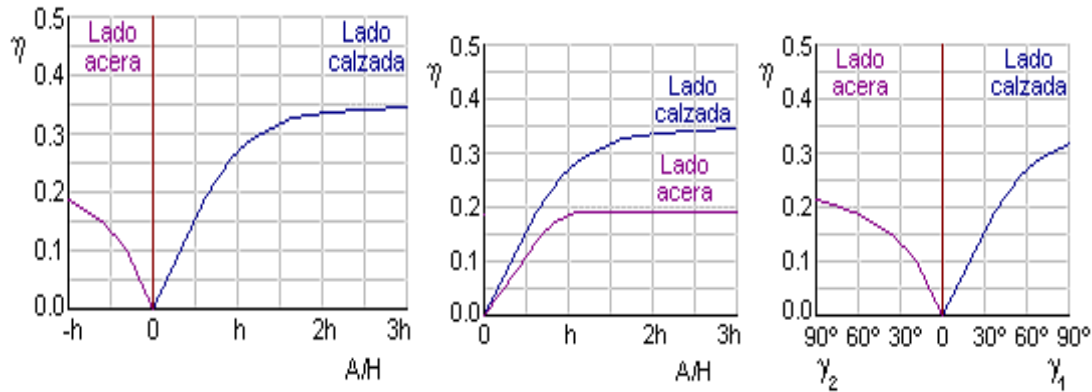


Figura N°1.3: Curvas de Fabricantes

Curvas del factor de utilización

De los gráficos se puede observar que hay dos valores posibles, uno para el lado acera y otro para el lado calzada, que se obtienen de las curvas.

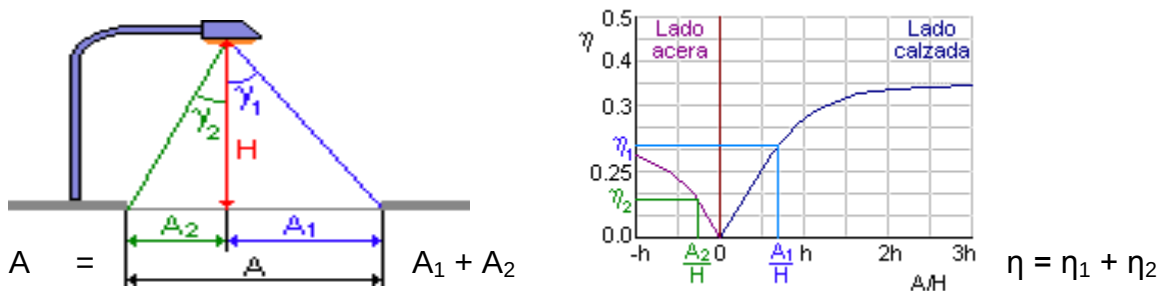


Figura N°1.4: Factor de utilización

Por tanto, para obtener el factor de utilización total de la sección transversal de la calle habrá que sumar los coeficientes del lado acera y del lado calzada, aunque en otros casos la cosa puede ser diferente.

Cálculo de la separación entre luminarias

Una vez fijados los datos de entrada, podemos proceder al cálculo de la separación (d) entre las luminarias utilizando la expresión de la iluminancia media.

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d} \quad (1.2)$$

Donde:

- E_m es la iluminancia media sobre la calzada que queremos conseguir.
- η es el factor de utilización de la instalación.
- f_m es el factor de mantenimiento.
- Φ_L es el flujo luminoso de la lámpara.
- A es la anchura a iluminar de la calzada que en disposición bilateral pareada es la mitad ($A/2$) y toda (A) en disposiciones unilateral y tresbolillo.
- d es la separación entre las luminarias.

Comprobación

Finalmente, tras las fases anteriores, entrada de datos y cálculo, solo queda comprobar si el resultado está dentro de los límites. Si es así habremos acabado y si no variaremos los datos de entrada y volveremos a empezar. Si la divergencia es grande es recomendable cambiar el flujo de la lámpara. A modo orientativo podemos usar la siguiente tabla que da la relación entre la separación y la altura para algunos valores de la iluminancia media.

E_m (lux) separación / altura

$$2 \leq E_m < 7 \quad 5 \leq d/h < 4$$

$$7 \leq E_m < 15 \quad 4 \leq d/h < 3.5$$

$$15 \leq E_m \leq 30 \quad 3.5 \leq d/h < 2$$

Métodos numéricos

Los métodos numéricos se basan en la idea de que no es preciso calcular la iluminancia en todos los puntos de la calzada para tener una idea exacta de la distribución luminosa, sino que basta con hacerlo en unos cuantos puntos representativos llamados nodos. Para ello, dividiremos la zona a estudiar en pequeñas parcelas llamadas dominios, cada una con su correspondiente nodo, en las cuales supondremos la iluminancia uniforme. La iluminancia total de la calzada se calculará como una media ponderada de las iluminancias de cada dominio. El número de particiones que hagamos dependerá de la precisión que queramos obtener. En nuestro caso trabajaremos con el criterio de los nueve puntos que es el más

sencillo, aunque la mecánica de trabajo es la misma siempre independientemente del número de dominios que tengamos.

Los métodos numéricos son herramientas de cálculo muy potentes pero que requieren mucho tiempo para su ejecución. Por ello es imprescindible el concurso de ordenadores para aplicarlos.

Método de los nueve puntos

Supongamos un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas una distancia d .

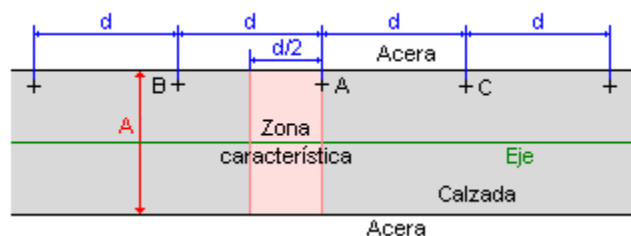


Figura N°1.5: Distancia entre luminarias

Debido a las simetrías existentes en la figura, bastará con calcular las iluminancias en la zona señalada. En el resto de la calzada estos valores se irán repitiendo periódicamente.

Para hacer los cálculos, la zona se divide en nueve dominios con otros tantos puntos.

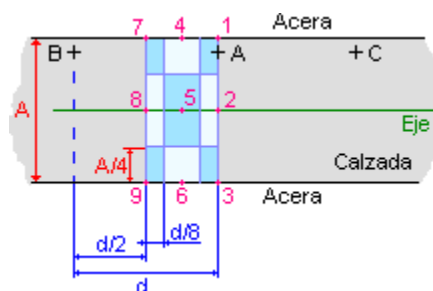


Figura N°1.6: Dominios y puntos

Distribución de puntos en una disposición unilateral

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16} \quad (1.3)$$

con:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{32} = S_1 \quad (1.4)$$

$$S_2 = S_8 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1 \quad (1.5)$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1 \quad (1.6)$$

$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{8} = 4S_1 \quad (1.7)$$

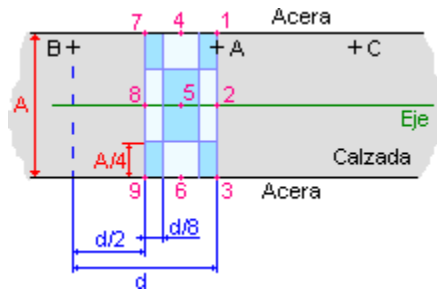
Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de E_m es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

Para calcular las iluminancias sobre cada nodo sólo consideraremos la contribución de las luminarias más próximas despreciándose el resto por tener una influencia pequeña.

La iluminancia en cada punto vale entonces:

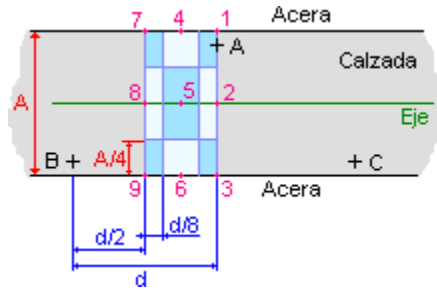
$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} \quad (1.8)$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16} \quad (1.9)$$



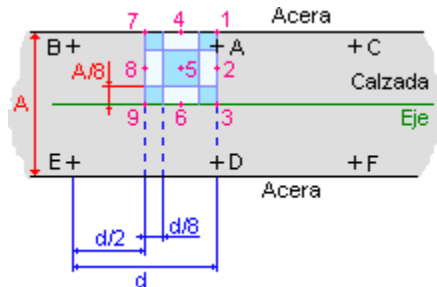
$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$

Figura N°1.7: Distribución de puntos en una disposición unilateral



$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$

Figura N°1.8: Distribución de puntos en una disposición tresbolillo



$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} + E_{iD} + E_{iE} + E_{iF}$$

Figura N°1.9: Distribución de puntos en una disposición bilateral pareada

Además de E_m podemos calcular los coeficientes de uniformidad media y extrema de las iluminancias

Uniformidad media = $E_{\min} / E_m$

Uniformidad extrema = $E_{\min} / E_{\max}$

Para calcular las iluminancias podemos proceder de dos maneras:

En primer lugar podemos calcularlas usando la fórmula:

$$E_H = \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cdot \cos^3 \gamma_i \quad (1.10)$$

donde I se puede obtener de los gráficos polares o de la matriz de intensidades.

La otra posibilidad es recurrir a un método gráfico. En él, los valores de las iluminancias se obtienen por lectura directa de las curvas isolux. Para ello necesitaremos:

1. Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)

2. La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.
3. Una tabla para apuntar los valores leídos.

El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada.

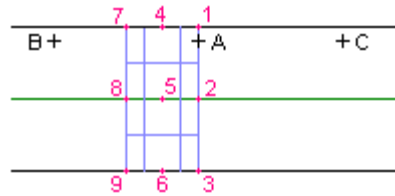


Figura N°1.10: Calzada con centros fotométricos

A continuación se superpone sucesivamente la curva isolux sobre el plano de manera que su origen quede situado sobre la luminaria y los ejes estén correctamente orientados (0-180° paralelo al eje de la calzada y 90°-270° perpendicular al mismo). Se leen los valores de la luminancia en cada punto y se apuntan en la tabla. a continuación se suman los valores relativos para cada punto y se calculan los valores reales. Finalmente calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad media y extrema.

Cálculo de luminancias

La luminancia de un punto de la calzada que percibe un observador depende básicamente de la iluminancia recibida en dicho punto proveniente de las luminarias de la calle, de las características reflectantes del pavimento y de la posición del observador. Visto esto, y en especial teniendo en cuenta que los observadores, los usuarios de la vía, van variando su posición, resulta fácil comprender la dificultad de determinar las luminancias. Por ello, en la actualidad, el cálculo de luminancias está orientado al empleo de métodos numéricos ejecutados por ordenador. Como ya sabemos, la luminancia de un punto de la calzada vista por un observador e iluminado por más de una luminaria se puede expresar como:

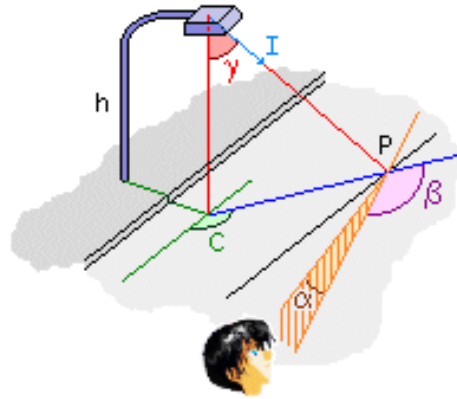


Figura N°1.11: Vista de la calzada

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2} \quad (1.11)$$

Luminancia de un punto de la calzada

Donde $r(\beta, \gamma)$ es un factor que depende de las características reflectivas del pavimento.

Para efectuar los cálculos, el observador se sitúa 60 metros, en el sentido de la marcha, por delante de la primera fila de puntos que forman la partición que se ha realizado en la vía y a una altura de 1.5 m sobre el suelo.

Los métodos consisten en determinar las luminancias de los puntos de la calzada previamente escogidos. Una vez determinadas podremos calcular la luminancia media y los factores de uniformidad de la calzada. Así comprobaremos si se cumplen los criterios especificados en las recomendaciones.

Existen métodos manuales para el cálculo de la iluminancia por el método del punto por punto aplicando gráficos (con diagramas iso-r e isocandela o con diagramas iso-q e isolux) pero están en desuso por ser métodos lentos, tediosos y poco fiables debido a que es fácil equivocarse durante su empleo.

1.5. Conclusiones

Durante el transcurso del presente capítulo se ha explicado de manera detallada todo lo relacionado con tipos de lámparas, sus características y los métodos de cálculos

existentes, tanto para interiores como exteriores, dándole al interesado en el trabajo una introducción general sobre el tema que se pretende estudiar, logrando de esta manera un enfoque demostrativo acerca del objetivo a desarrollar.

Capítulo II. Descripción de los sistemas de alumbrado



2.1 Introducción.

El presente capítulo tiene como principal objetivo caracterizar el sistema de alumbrado viario existente en el municipio Moa, teniendo en cuenta la mayor cantidad de aspectos posibles como son: (tipos de luminarias, distancia de los puntos de luz, distribución utilizada, parámetros eléctricos, tipos de vías, y el más importante de todos, niveles de iluminación. Para realizar un buen estudio es necesario conocer los tipos de fuentes de luz, especialmente sus características, funcionamiento y la distribución espectral; esto nos ayudará a seleccionar el tipo de fuente para mejorar los niveles de iluminancia media (E_m).

2.2 Caracterización del Sistema de Alumbrado que se utiliza en la actualidad.

Los fabricantes de iluminación actual, tanto aquellos que diseñan y fabrican las fuentes de luz, como los que fabrican las luminarias, han desarrollado durante los últimos años productos de muy alta eficiencia, pero si comparamos el producto actual con el que se utilizaba hace treinta años, nos asombrarían los resultados.

Una lámpara de última generación ronda los 110 lúmenes/watio mientras que una lámpara todavía hoy utilizada de vapor de mercurio a alta presión tiene una eficiencia de 50 lúmenes/watio, es decir, se ha duplicado el rendimiento.

De igual modo, una luminaria actual dispone de reflectores con rendimientos del 80-85%, sistemas de regulación de lámpara que controlan la contaminación lumínica, etc. todo ello hace que sean elementos ya de por sí eficientes.

Los conjuntos formados por luminaria y lámpara son altamente eficientes, mucho mejores que los que disponíamos hace años. Así, su evolución podría asemejarse a la industria del automóvil, con menor consumo, más prestaciones, más velocidad en resumen, enormes diferencias.

2.2.1. Características técnicas de las lámparas

Lámparas de vapor de sodio a baja presión

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí.

La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por contra, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos.

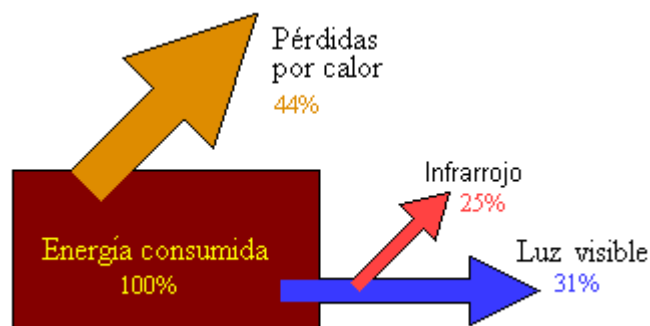


Figura N°2.1: Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a baja presión

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior.

En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

El tiempo de arranque de una lámpara de este tipo es de unos diez minutos. Es el tiempo necesario desde que se inicia la descarga en el tubo en una mezcla de gases inertes (neón y argón) hasta que se vaporiza todo el sodio y comienza a emitir luz. Físicamente esto se corresponde a pasar de una luz roja (propia del neón) a la amarilla característica del sodio. Se procede así para reducir la tensión de encendido.

Lámparas de vapor de sodio a alta presión

Las lámparas de vapor de sodio a alta presión tienen una distribución espectral que abarca casi todo el espectro visible proporcionando una luz blanca dorada mucho más agradable que la proporcionada por las lámparas de baja presión.

Las consecuencias de esto es que tienen un rendimiento en color ($T_{color} = 2100\text{ K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ($IRC = 25$, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas.

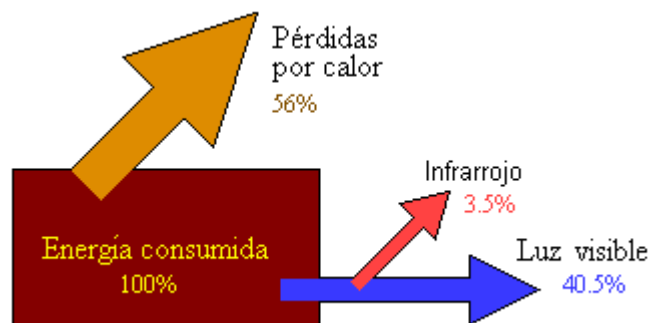


Figura N°2.2: Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión

La vida media de este tipo de lámparas ronda las 20000 horas y su vida útil entre 8000 y 12000 horas. Entre las causas que limitan la duración de la lámpara, además de mencionar la depreciación del flujo tenemos que hablar del fallo por fugas en el tubo de descarga y del incremento progresivo de la tensión de encendido necesaria hasta niveles que impiden su correcto funcionamiento.

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas ($1000\text{ }^{\circ}\text{C}$), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las

pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve.

Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa.

Tendencia actual de los sistemas de iluminación viarios.

Lámparas de arreglo de LED. Los LED son básicamente pequeñas ampolletas que se ajustan en un circuito electrónico, y que desprenden luz debido al movimiento de electrones en un material semiconductor. Un diodo es el dispositivo semiconductor más simple que existe. Se construye uniendo una sección de un material cargado positivamente, con otra de material cargado en forma negativa, y con electrodos en cada extremo, para que de esta forma conduzcan electricidad (en la forma de electrones moviéndose libremente) en una dirección cuando se aplique voltaje al diodo. Los electrones se mueven en una serie de órbitas fijas alrededor del núcleo de los átomos. Cuando un electrón absorbe energía extra del voltaje introducido, salta a una órbita superior, y cuando regresa a la órbita inferior, emite la energía extra en forma de fotón.

A diferencia de los diodos comunes, en los que el material semiconductor absorbe la mayor parte de la energía lumínica antes de que ésta sea liberada, los LED están hechos para emitir una gran cantidad de fotones.

El color de la luz de un LED obedece a la cantidad de energía en ese fotón. A su vez, la cantidad de energía dependerá del material utilizado para las capas.

La luz de un LED es direccional, por lo que se puede ajustar en la dirección que se requiera. No contienen ningún material peligroso, como mercurio, al contrario de las ampolletas eficientes. Gracias a la alta calidad de los materiales que lo componen y a su larga vida útil requieren ser reciclados menos a menudo.

Los LED de color cubren todo el espectro de colores de luz visible, lo que ofrece al mercado innumerables posibilidades. Además, poseen un alto índice cromático, gracias a lo cual los colores se ven más naturales.

El tiempo medio de vida de una lámpara de LED oscila entre 50.000 y 100.000 horas. La última tecnología de LED de montaje superficial y gran flujo luminoso está por encima de 100.000 horas.

En la Fig. 2.3 se puede ver un diagrama de la eficiencia energética de una lámpara de LED.

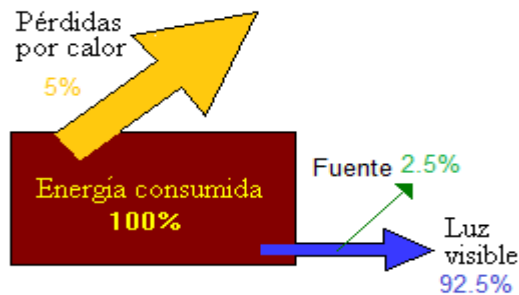


Figura N°2.3: Balance energético de una lámpara de LED.

Dentro de las ventajas conocidas de la tecnología LED están el ahorro de entre un 75% y un 90% en consumo energético, sin sacrificar intensidad lumínica, no generan rayos UV ni IR, libres de mantenimiento y menor costo a largo plazo. La tecnología de construcción de LED ha venido mejorando con el tiempo y ya se pueden conseguir LED de menor tamaño, mejor rendimiento y menores costos.

El color preferido para la iluminación es el blanco debido a que da una mejor perfilación y una definición de colores mucho mayor a las de los demás colores del espectro, además, dentro de la mayoría de normas a nivel mundial los colores usados son blanco y amarillo.

En la actualidad no se ha llevado a cabo ningún estudio que compare las dos principales tecnologías utilizadas teniendo en cuenta los parámetros principales como: potencia, consumo, niveles de iluminación, calidad de iluminación, costos, entre otros.

Un estudio serio en este sentido es importante para poder tener herramientas que le ofrezcan asidero para la elección de una u otra tecnología a los entes que manejan el alumbrado en la empresa, ya que es de obligatorio cumplimiento, según la normatividad vigente, el elegir la opción más eficiente en todos los sentidos.

Las luminarias y lámparas a LEDs, existentes en el mercado para aplicaciones de iluminación vial, reportan eficiencias de más de 80 lm/w y hasta 100 lm/W. Se puede observar en el tabla N°2.1 que, excepto las lámparas de SAP de 250 W y 400 W, los valores de la eficiencia de las lámparas y luminarias a LEDs son iguales o mayores que la

mayoría de las lámparas actualmente empleadas en la iluminación vial, lo cual permite contar con otra opción técnica a considerar. El empleo de los LEDs, siempre requerirá de un análisis técnico- económico que lo justifique con respecto a las lámparas tradicionales.

Tabla N°2.1: Comparación de luminarias de Sodio Alta Presión y luminarias Leds.

Tipo de lámpara	Eficiencia de la lámpara	Horas máximas de vida (catálogo)	Horas de vida (real)	Recambio (anual)
	Lm/W	horas	horas	
LEDs	80-100	50 000	50 000	0.08
SAP (70-100-150 W)	69-90	24 000	20 000	0.2
HM (125-250-400 W)	46-52	24 000	20 000	0.2
HMM (160-250-500 W)	19-30	12 000	6 000	0.7
Incandescentes (100÷500 W)	18-20	1 000	750-1 000	5

Teóricamente los ahorros energéticos posibles a obtener, suponiendo que sea posible sustituir las luminarias existentes por las de LEDs que satisfagan los requisitos fotométricos y luminotécnicos de la vía, son los mostrados en el tabla N°2.1. Así las cosas, una lámpara incandescente de 100 W, puede ser sustituida por una de LEDs de 17 Watt, si existiera en el mercado, y obtenerse un ahorro del 83% de la energía consumida.

Tabla N°2.2: Potencia de LEDs con eficiencias de 80 y 100 lm/W requeridas

Tipo de lámpara	Potencia a total (*)	Potencia y ahorro con LEDs de 80 lm/W		Potencia y ahorro con LEDs de 100 lm/W	
	W	W	Ah	W	Ah
Sodio Alta	100	17	83	14	86
Sodio Alta P.	150	28	82	22	85
Sodio Alta P.	200	39	81	31	85
Sodio Alta P.	300	78	74	62	79
Sodio Alta P.	500	113	77	91	82
HMM	160	39	76	31	81
HMM	250	69	73	55	78
HMM	500	171	66	137	73
HM 125	137	78	43	63	54

HM 250	266	162	39	129	51
HM 400	425	277	35	221	48

2.3 Diagnóstico del sistema de iluminación instalado en el municipio Moa

Luego de muchos años sin recursos destinados a la continuación y mantenimiento del sistema de alumbrado público del municipio Moa, en el año 2008 comenzó un proceso de recuperación de la iluminación pública en las principales avenidas del territorio, sin un debido plan de mantenimiento presentando en la actualidad un alto deterioro. Junto con este deterioro del alumbrado existente debemos señalar que el vertiginoso desarrollo de la ciudad a finales de la década de los 80 y principios de los 90 provocó que muchos de los repartos creados en esta época surgieran sin alumbrado público y junto con ellos, sus avenidas y calles.

Específicamente las lámparas usadas en el sistema viario de Moa tienen las características técnicas siguientes:

Tabla N° 2.3: Características técnicas de las lámparas usadas en el alumbrado viario de Moa.

Tipo	Vapor de S.A.P	Vapor de Mercur	Halog. Metálicos
Potencia (W).	150, 250, 400	250, 400	250
Porta Lámparas.	E40	E40	E40
Flujo Luminoso (Lm)	14000, 25000, 47000	13000, 22000	17000
Posición de fun.	Cualquiera	Cualquiera	Cualquiera
Equipo Eléctrico.	Reactancia+Ignitor	Reactancia	Reactancia+Ignitor

Analizando la tabla 2.3 y comparándola con la tabla 1.2, teniendo en cuenta que el tipo de lámpara más usada es VSAP, la altura del punto de luz en la mayoría de los casos es de 10 m y los años de servicio, se determina con facilidad una de las causas del principal problema presentado por el sistema, los bajos niveles de iluminación (**Ems**).

Muchas vías de la ciudad se alimentan de los transformadores de distribución urbana situados en ellas, pero solo se hará referencia a los transformadores de alumbrado público que se encuentran en las Avenidas y calles de nuestro interés.

Tabla N° 2.4: Características de los transformadores de alumbrado público.

Cod.B	C. P	S (kVA)	V. P (kV)	V. S (kV)	Dirección
OB -3	1	50	7.620	240/ 480	Ave. 1 ^{ero} de Mayo
OB -74	1	37.5	7.620	120/ 240	Ave. 1 ^{ero} de Mayo
OB -28	1	15	7.620	120/ 240	Camilo Cienfuegos.
OB -110	2	15	7.620	120/ 240	Mariana Grajales.
OB -115	2	50	7.620	240/ 480	Ángel Romero V.
OB -176	6	15	7.620	120/ 240	9 ^{na} de Rolo M.
OB -194	6	10	7.620	120/ 240	1 ^{ra} de Rolo M.

Cod. B..... Código del banco.

C. P..... Circuito primario al que pertenece el transformador.

V. P..... Voltaje primario del transformador.

V. S..... Voltaje secundario del transformador.

Principales calles y avenidas del municipio y sus características físicas.

1. Avenida 1^{ro} de Mayo.
2. Avenida 7 de Diciembre.
3. Avenida Calixto García.
4. Avenida Lenin.
5. Calle Antonio Boisán
6. Calle 9^{na} de Rolo Monterrey.
7. Calle 1^{ra} de Rolo Monterrey.
8. Calle José Martí.
9. Calle Pedro Soto Alba.
10. Calle Camilo Cienfuegos
11. Calle 1^{ra} de los Mangos.
12. Calle 5^{ta} de los Mangos.
13. Calle Mariana Grajales.
14. Calle Ángel Romero Videaux.
15. Avenida Simón Bolívar. (Accesos al hospital).
16. Avenida Carlos J. Finlay. (Accesos al hospital).

Para la determinación de las características físicas de las Ave. y calles de Moa se utiliza un plano tipográfico en formato AutoCad, propiedad de la U.E.B del municipio, ver Anexo 1.

Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema instalado

Con el levantamiento realizado en el sistema de iluminación viaria, se comprobó que las mayores dificultades del mismo son:

- Muy bajos niveles de iluminación en todas las vías.
- La falta de luminarias completas (ausencia de pantallas protectoras, etc.)
- La falta de torres de alumbrado y/o la necesidad del mantenimiento de las existentes sobre todo en las dos principales avenidas.
- La necesidad de restituir el conductor.
- Falta de lámparas y sustitución de las rotas.
- En la mayoría de los casos la altura de las torres no es la adecuada en correspondencia con el flujo luminoso de las lámparas utilizadas.
- La disposición de las luminarias en algunos casos no es la más conveniente teniendo en cuenta las características de la vía donde se encuentran.
- El uso de diferentes tipos de lámparas y luminarias para una misma vía.
- El ángulo de inclinación de los brazos fijados a las torres en conjunto con la mala selección de las luminarias provoca deslumbramiento y contaminación lumínica.
- La presencia de árboles cerca del tendido eléctrico de alimentación.
- Los transformadores de alumbrado público se encuentran muy subcargados, producto a la gran cantidad de lámparas que están fuera de servicio.

Por todas estas deficiencias encontradas, se puede afirmar que el sistema de alumbrado viario del municipio Moa, carece de las condiciones necesarias para brindarles seguridad a los peatones y conductores de vehículos mientras circulan por las diferentes vías de la ciudad.



Figura N°2.4: Muestra de las deficiencias del sistema de iluminación.



Figura N°2.5: Niveles de iluminación en horario nocturno.

Niveles de iluminación actuales en las Avenidas y calles de Moa.

Con los datos obtenidos a partir de las características físicas de las avenidas y calles, las mediciones con el luxómetro ver figura 2.6 y la utilización de los software LITESTAR 5.S3 y Ulysse 2, (ver figuras 2.7 y 2.8), se realiza un estudio de diversos tramos de diferentes vías para tener una referencia de los niveles de iluminación existentes. Debido a la mala uniformidad de la iluminación nos vemos en la necesidad de escoger algunos de los mejores tramos de calzadas, teniendo en cuenta siempre, que dichos tramos estuvieran delimitados por lámparas funcionando correctamente y una clara disposición de las luminarias, ya que se hace imposible realizar un estudio de este tipo teniendo en cuenta la longitud completa de la calzada. Posteriormente se hará una comparación de los resultados obtenidos con los niveles de iluminación exigidos para Cuba.



Figura No. 2.6. Luxómetro AEMC-810

Representación de los niveles de iluminación.**Avenida 1^{ro} de Mayo – (Tramo 1)**

Interdistancia promedio: 35 m

Altura del punto de luz: 9 m

Tipo de lámpara: VSAP 250 W

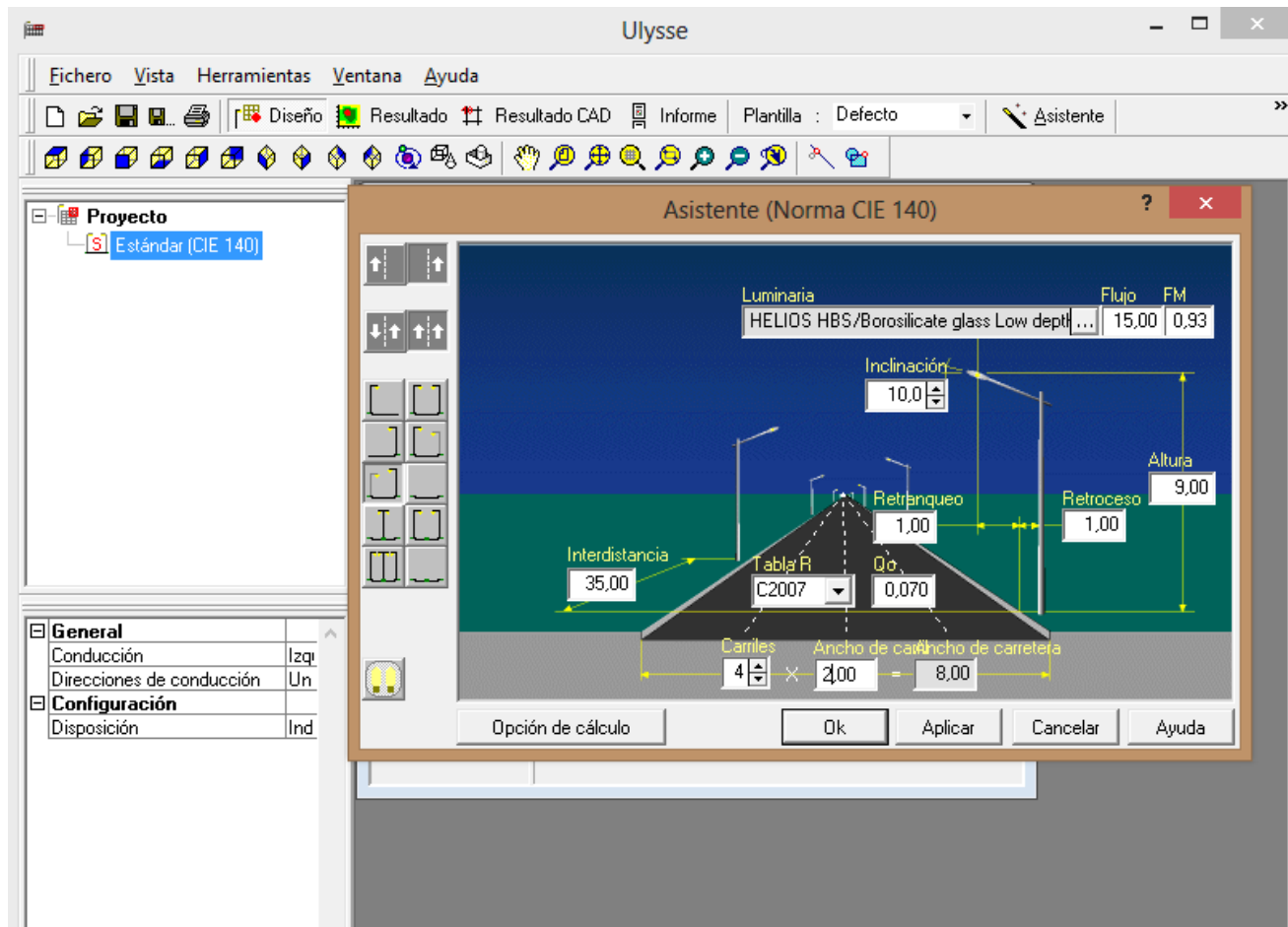


Figura No. 2.7. Software profesional de iluminación ULYSSE

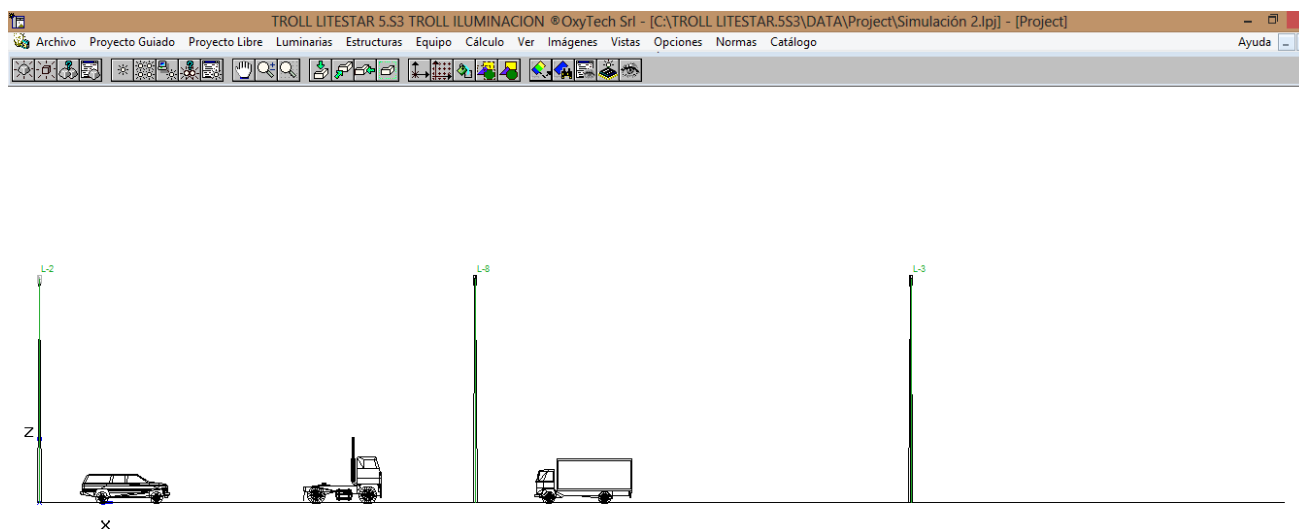


Figura No. 2.8. Software profesional de iluminación LITESTAR 5.S3

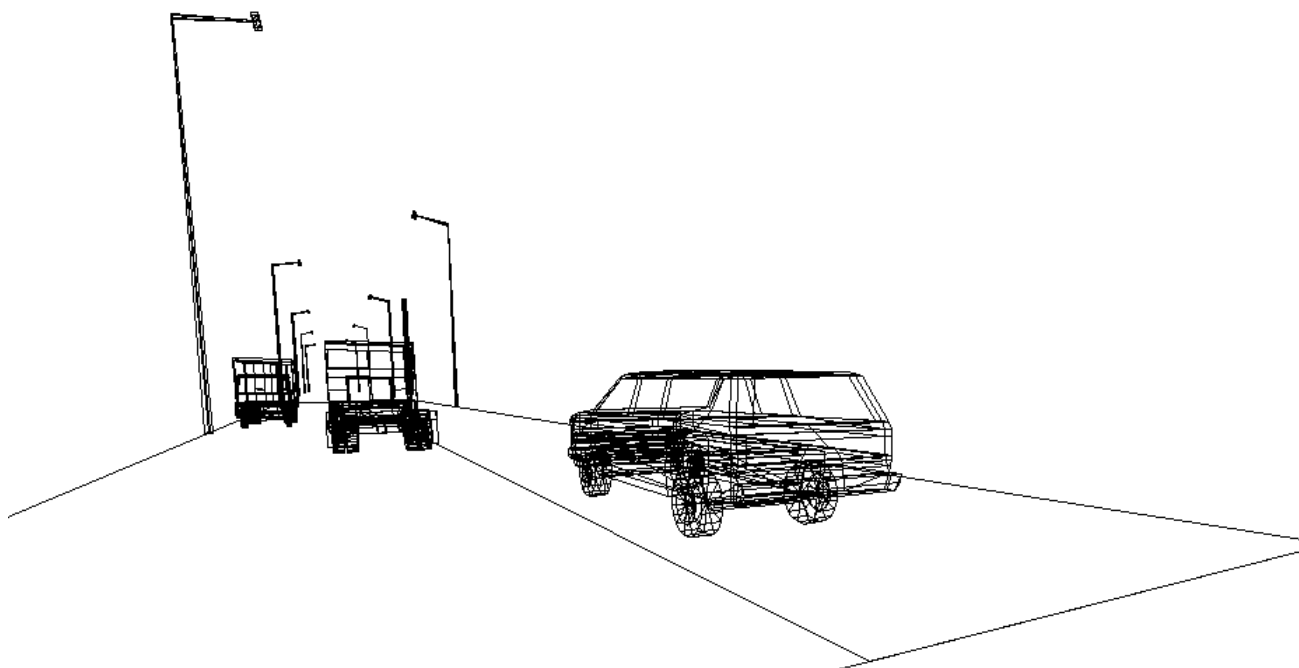


Figura No. 2.9. Vista en tercera dimensión de la avenida 1ro de Mayo.



Figura No. 2.10. Simulación de la avenida



Figura No. 2.11. Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.



Figura No. 2.12. Proyección de los puntos de luz sobre la calzada

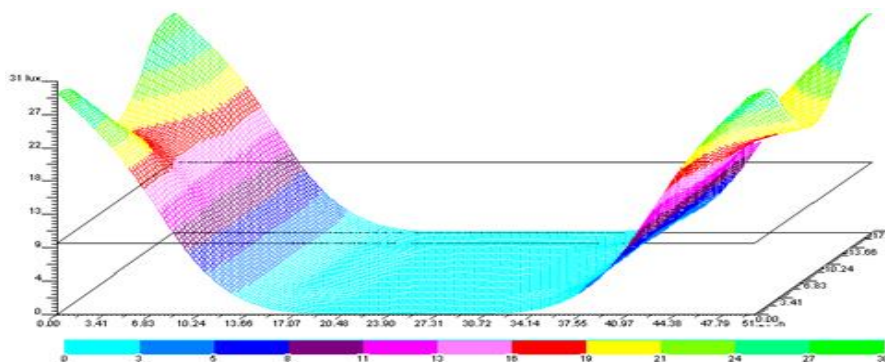


Figura No. 2.13. Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Como se muestra en la fig 2.10 a la 2.13, los niveles de iluminación son bajos y no uniformes, ocasionando deslumbramiento y cansancio visual para los conductores

Distribución de los lux que llegan a la calzada.

Emín = 0 lux

Ems = 6 lux

Emáx = 30 lux

Avenida 7 de Diciembre – (Tramo 1).

Interdistancia promedio: 35 m

Altura del punto de luz: 9 m

Tipo de lámpara: VSAP 150 W

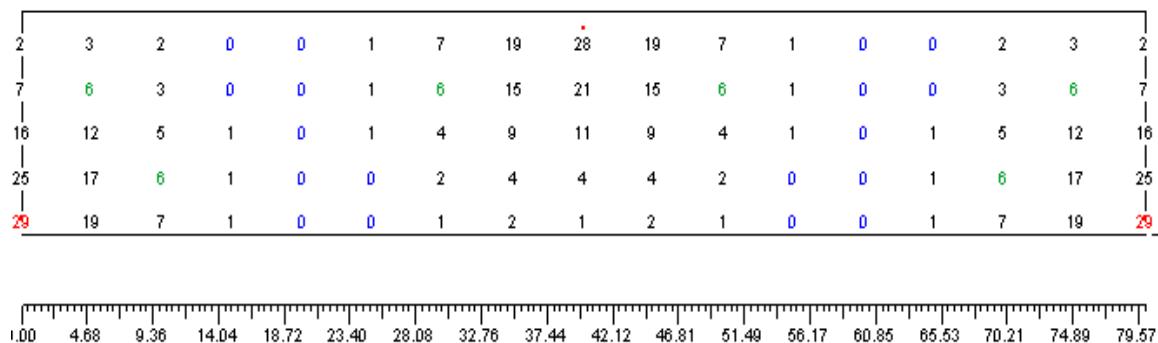


Figura No. 2.14. Distribución de los lux que llegan a la calzada.

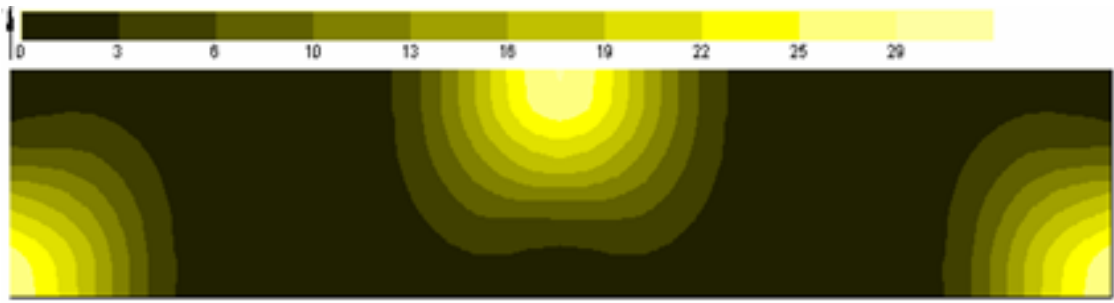


Figura No. 2.15. Proyección de los puntos de luz sobre la calzada

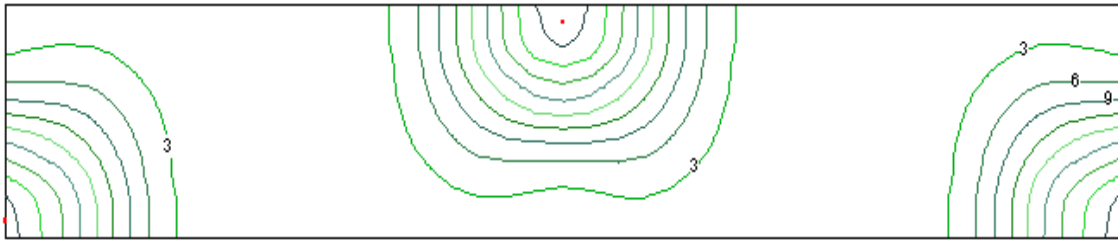


Figura No. 2.16. Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

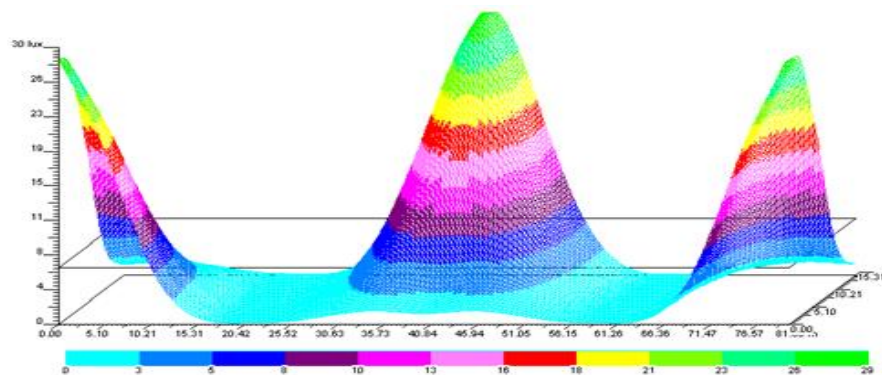


Figura No. 2.17 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación. (lux)

Se escogieron algunas calzadas para ejemplificar la representación de los niveles de iluminación actuales, las restantes se encuentran en el Anexo 2.

Emín: Iluminancia mínima.

Ems: Iluminancia media en servicio.

Emáx: Iluminancia máxima.

Comparación de los resultados obtenidos.

Tabla N° 2.5: Niveles de iluminación actuales en las diferentes vías del municipio Moa.

Nombre	Emín.(lux)	Ems.(lux)	Emáx.(lux)
Avenida 1 ^{er} o de Mayo -Tramo 1	0	6	30
-Tramo 2	0	0	0
Avenida 7 de Diciemb -Tramo 1	0	6	2
-Tramo2	0	11	44
Avenida C. García -Tramo 1	0	9	29
-Tramo 2	0	9	107
Avenida Lenin -Tramo 1	1	8	21
-Tramo 2	0	8	28
Calle Antonio Boisán	0	7	94
Calle 9na de Rolo Monterrey	0	12	42
Calle 1ra de Rolo Monterrey	0	9	42
Calle José Martí - Tramo 1	0	9	45
- Tramo 2	0	8	28
Calle Pedro Soto Alba	0	9	42
Calle Camilo Cienfuegos	0	9	42
Calle 1ra de los Mangos	0	6	42
Calle 5ta de los Mangos	0	4	42
Calle Mariana Grajales	0	9	42
Calle Ángel Romero Videaux	0	10	42
Ave. Simón Bolívar (Accesos H)	0	5	94
Ave. Carlos J. Finlay (Accesos H)	0	8	51

Tabla N° 2.6: Niveles de iluminación (usados en Cuba).

Tipos de vías	Ems
Vías principales o Avenidas	15 lux
Vías Colectivas	8 lux
Vías Residencial-Comercial	6 lux
Vías Residenciales	3 lux
Vías Expresas	10 lux

Puede haber interés social sobre algunas áreas y los niveles que se admitan sean superiores. Ej.... La Rampa, Malecón, Prado.

Al realizar la comparación de los niveles medios de iluminación (Ems) existentes en todas avenidas y calles de Moa, con los niveles de la tabla 2.5, se refleja con claridad la diferencia que existe. Hay que tener en cuenta que si el estudio se hubiese podido realizar para las calzadas completas, los niveles de iluminación (Emin, Ems) fueran prácticamente cero, debido a esto surge la necesidad de una mejora en el alumbrado viario para lograr un

aumento del nivel medio de iluminación hasta 15 lux que es lo establecido por las normas para este tipo de vías.

2.5. Conclusiones

En este capítulo se determinaron de manera precisa y justificada las deficiencias actuales existentes en el sistema de alumbrado viario donde se realizó dicho estudio, priorizando la principal dificultad encontrada (niveles de iluminación), obteniéndose de esto los aspectos fundamentales a la hora de ejecutar el trabajo. Se caracterizaron los distintos tipos de lámparas usadas en las vías del municipio para tener una idea de la magnitud del problema y poder enfocarnos directamente con el objetivo a solucionar.

Capítulo III



Propuesta para reducir el consumo energía

3.1. Introducción

En este capítulo se pretende dar solución al problema existente en el sistema de alumbrado viario del municipio, tomando la variante más económica y factible. Se realizarán todos los cálculos en cuanto a valoración económica del trabajo a realizar para efectuar dichas mejoras en la iluminación, donde intervienen los gastos de transporte, la compra de accesorios como cables, torres y los elementos de fijación a estas, el costo de montaje y por último el de mantenimiento. Se reflejará de manera digital como deben quedar las superficies de las calzadas iluminadas después de haber cumplido con las recomendaciones sugeridas por el trabajo.

3.2. Propuesta para mejorar el sistema de iluminación viaria del municipio Moa

Cuando se proyecta instalar un sistema de alumbrado, se debe tener la certeza de que los equipos seleccionados están en condiciones de proporcionar el máximo confort visual y los niveles de iluminación demandados.

Las calzadas a iluminar van, por supuesto, a condicionar definitivamente la elección de los equipos, ya que en modo alguno pueden darse incompatibilidades conceptuales, entre la idea arquitectónica que se pretende materializar y la concepción del alumbrado que se propone. Muchos tipos de lámparas que opcionalmente se pueden utilizar, en absoluto deben ser empleadas, sino aquellas requeridas por el proyecto arquitectónico. Por supuesto que se hace preciso considerar también el factor económico que, dado el caso, puede obligar a adoptar, por ejemplo, una combinación de alumbrado general, cuando ello sea lo más económico, en vez de otras opciones de alumbrado.

La disminución del deslumbramiento directo o reflejado, puede condicionar, en otros supuestos, la selección de luminarias de modo que se evite, o reduzca estos deslumbramientos.

Precisamos por ello, conocer los tipos de lámparas y luminarias que vamos a emplear, los niveles de iluminación requeridos para, mediante el uso del método utilizado, establecer si el número de luminarias propuesto va a producir los niveles de iluminación requeridos.

Es cierto, que los gustos personales de los usuarios y de los diseñadores del espacio arquitectónico, a veces, no son del todo coincidentes, pero también es cierto de que existen ciertas reglas básicas en el alumbrado con las cuales es posible organizar alumbrados de calidad (por la cantidad de luz, su idoneidad, etc.).

Para proponer la mejora del sistema de alumbrado viario instalado se realizará un estudio de los niveles de iluminación; así como de recursos y costos en ambos casos para escoger la variante correcta. Utilizando los software profesional ULYSSE y LITESTAR 5.S3, se realizarán todas las simulaciones de las vías y calzadas. La disposición de las luminarias en la vía se hará según la tabla 1.3.

Los equipos que se encuentran en buen estado funcionando normalmente se propone su reubicación en calles residenciales y la alimentación del sistema mejorado será en los centros de cargas existentes (transformadores), debido a que estos se encuentran muy sobrecargados.

Con la realización de este proyecto se garantiza el principal objetivo del alumbrado viario, proporcionar al conductor la visibilidad necesaria para ver los obstáculos y el trazado de la carretera, con el tiempo preciso para efectuar las maniobras que garanticen su seguridad, además de dotarlo de confort visual mientras conduce.

Tipos de lámparas y la luminaria a utilizar

Para la determinación de los tipos de lámparas y la luminaria a utilizar se tuvieron en cuenta varios aspectos que tienen estrecha relación con el lugar donde se pretende ejecutar el estudio, ya que en estos casos se deben tener presentes las valoraciones de los trabajadores responsables de la iluminación, sus criterios acerca de los equipos que se encuentran prestando servicio actualmente y de ellas extraer las mejores variantes. De este modo obtenemos de manera práctica las mejores propuestas.

Siendo terminado el trabajo, este debe sugerir todas las variantes posibles y de ellas demostrar cuál es la más factible. Para esto se analizaron las características de las

lámparas a sugerir y se definió cual se utilizaría en el montaje teniendo en cuenta que en el país se está realizando proyecto de este mismo tipo como el de la calle Zanja y Malecón habanero, Varadero, Santiago de Cuba y la avenida libertadores de la provincia de Holguín.

Dentro de las características a tener en cuenta tenemos:

- Vida útil del equipo (forma práctica).
- Tipo de luz emitida por el equipo (no perjudicable en cuanto a deslumbramiento, para el tráfico de vehículos y peatones).
- Costo del equipo.
- Altura de montaje
- Área a iluminar

Valorando todos estos aspectos se propone un nuevo sistema de iluminación Leds:

Características

Potencia Nominal: 100W + -50% T de Color: 5000 k

Tensión Nominal: 150 v -230 V Vida Útil: 50000 h

Tensión de Trabajo: 90v- 265 V

Flujo Luminoso: 9000 lm



Figura No. 3.1. Luminaria LEDS propuesta

Selección de matriz ? x

Public Lighting ☐ FM global ☐ FML del us ☐ FM del us Número de matriz Cantidad: 0

Luminaria	Protector	Reflector	Fuente	W	Flujo	FDL	Ajuste	FML	FM
FALCO 2	Borosilicate glass I	1312	MH	100	9,000	1,00	-31.0/135.0/6.0°	0,93	0,93
FULGORA	Glass Standard Fl	1697	MH	250	21,000	1,00	-32.0/83.0/6.0°	0,93	0,93
FURYO 1	Glass Standard Lc		SON-T	150	15,000	1,00	-34.0/107.0/6.0°	0,93	0,93
FURYO 2			SON-T	250	28,000	1,00	-34.0/135.0/6.0°	0,93	0,93
FURYO 3							-35.0/127.0/6.0°	0,93	0,93
GEMA									
GZ									
HELIOS HBS									

Categoría de contaminación: Alto
Ciclo de limpieza: 12 Mes

Base de datos de luminarias Base de datos de lámparas Fichero de luminarias

Mostrar Seleccionar Cancelar Ayuda

Figura No. 3.2. Caracateristica de la luminaria seleccionada.

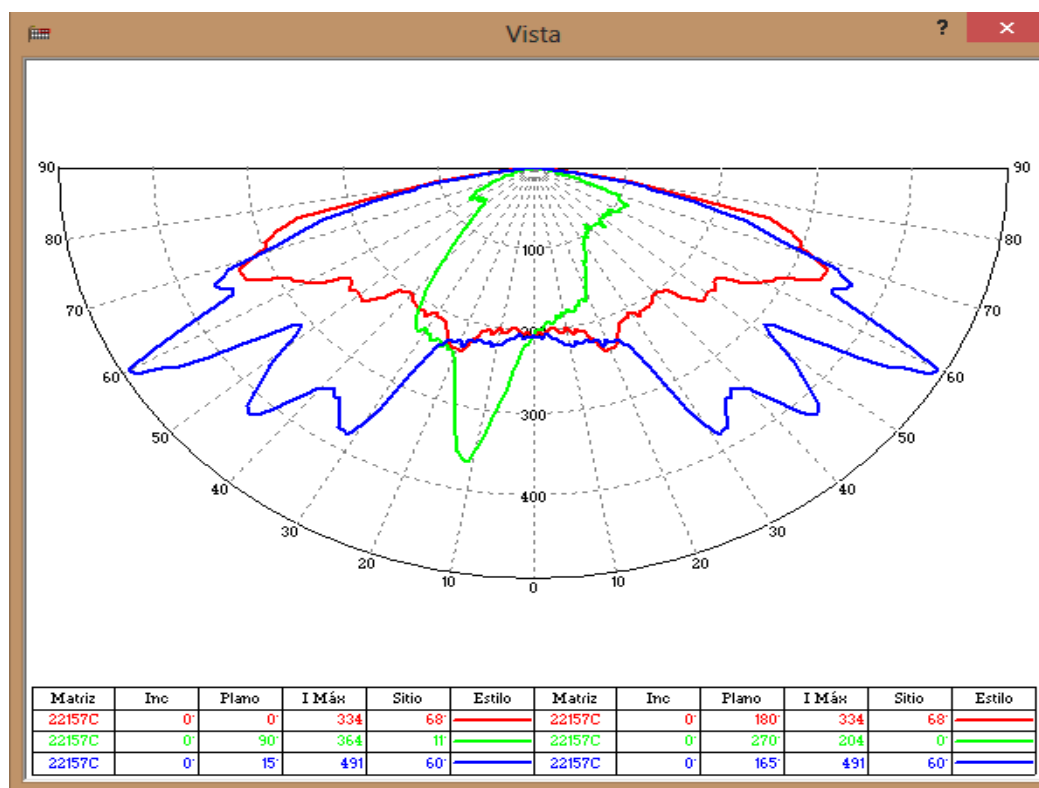


Figura No. 3.3. Curva de distribución.

3.3. Representación de los niveles de iluminación del sistema de alumbrado viario mejorado.

Avenida 1^{ero} de Mayo – (Tramo 1).

Disposición de las luminarias: Tresbolillo

Interdistancia promedio: 35 m

Altura del punto de luz: 9 m

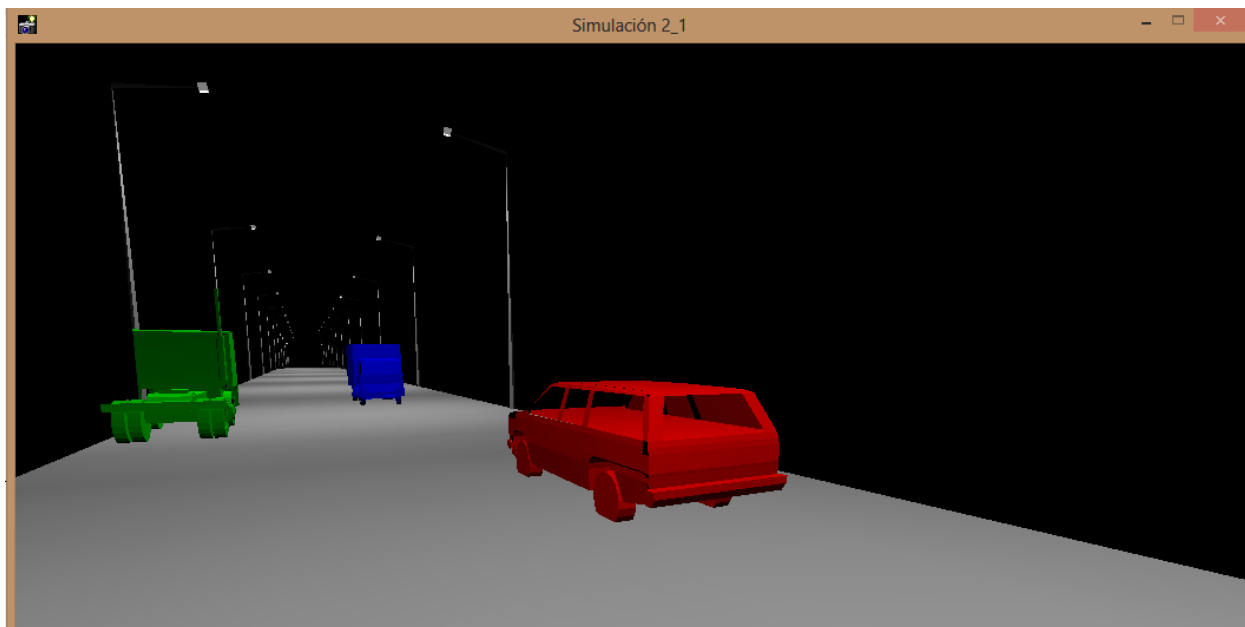


Figura No. 3.4. Representación física de la vía mejorada.

24	22	15	9	4	2	4	9	15	22	24
25	23	16	10	5	3	5	10	16	23	25
25	23	17	10	5	3	5	10	17	23	25
25	23	17	11	5	3	5	11	17	23	25
25	23	17	11	5	3	5	11	17	23	25
25	23	17	11	5	3	5	11	17	23	25
25	23	17	11	5	3	5	11	17	23	25
25	23	17	10	5	3	5	10	17	23	25
25	23	16	10	5	3	5	10	16	23	25
24	22	15	9	4	2	4	9	15	22	24

Emín = 2 lux

Ems = 15 lux

Emáx = 34 lux

Figura No. 3.5. Distribución de los lux que llegan a la calzada.

Avenida Calixto García – (Tramo 1).

Disposición de las luminarias: Unilateral izquierda.

Interdistancia promedio: 35 m

Altura del punto de luz: 9 m

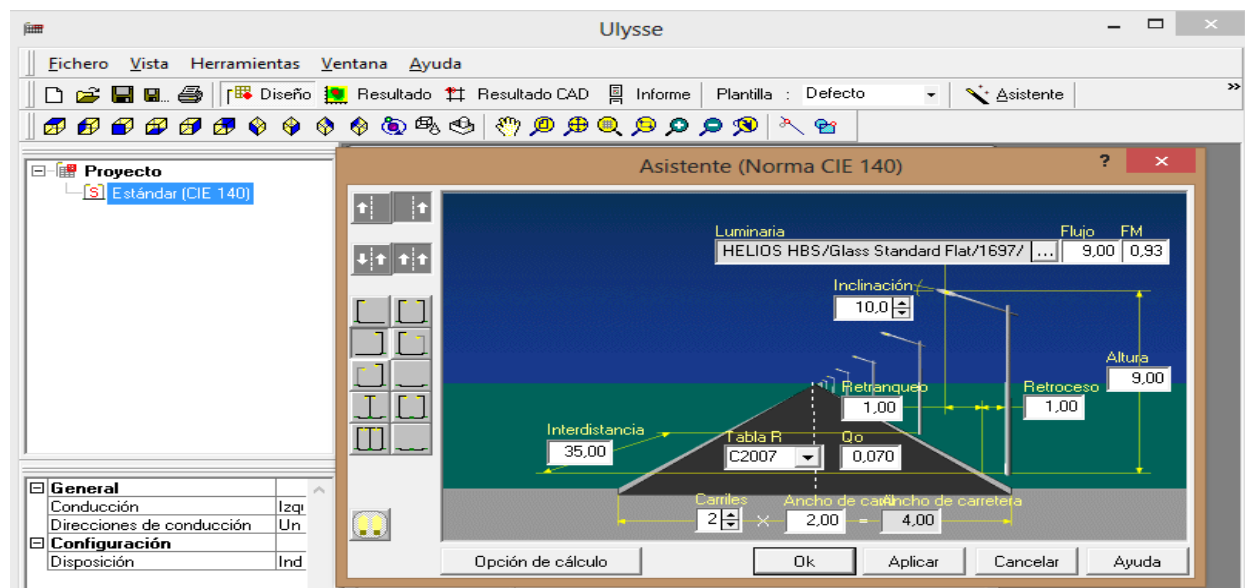


Figura No. 3.6. Configuración de los cálculos

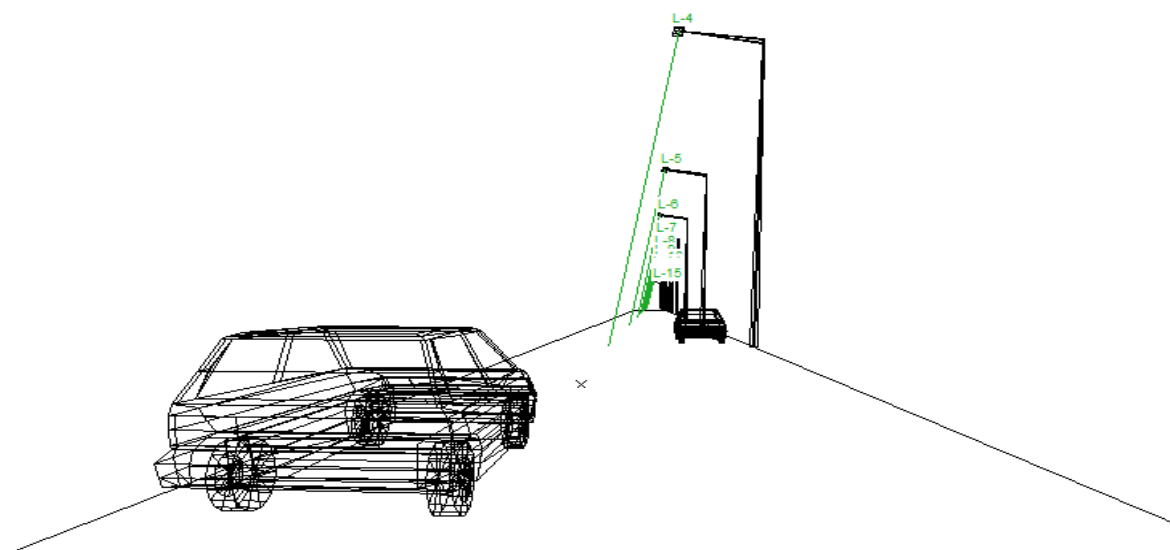


Figura No. 3.7. Vista en tercera dimensión de la avenida

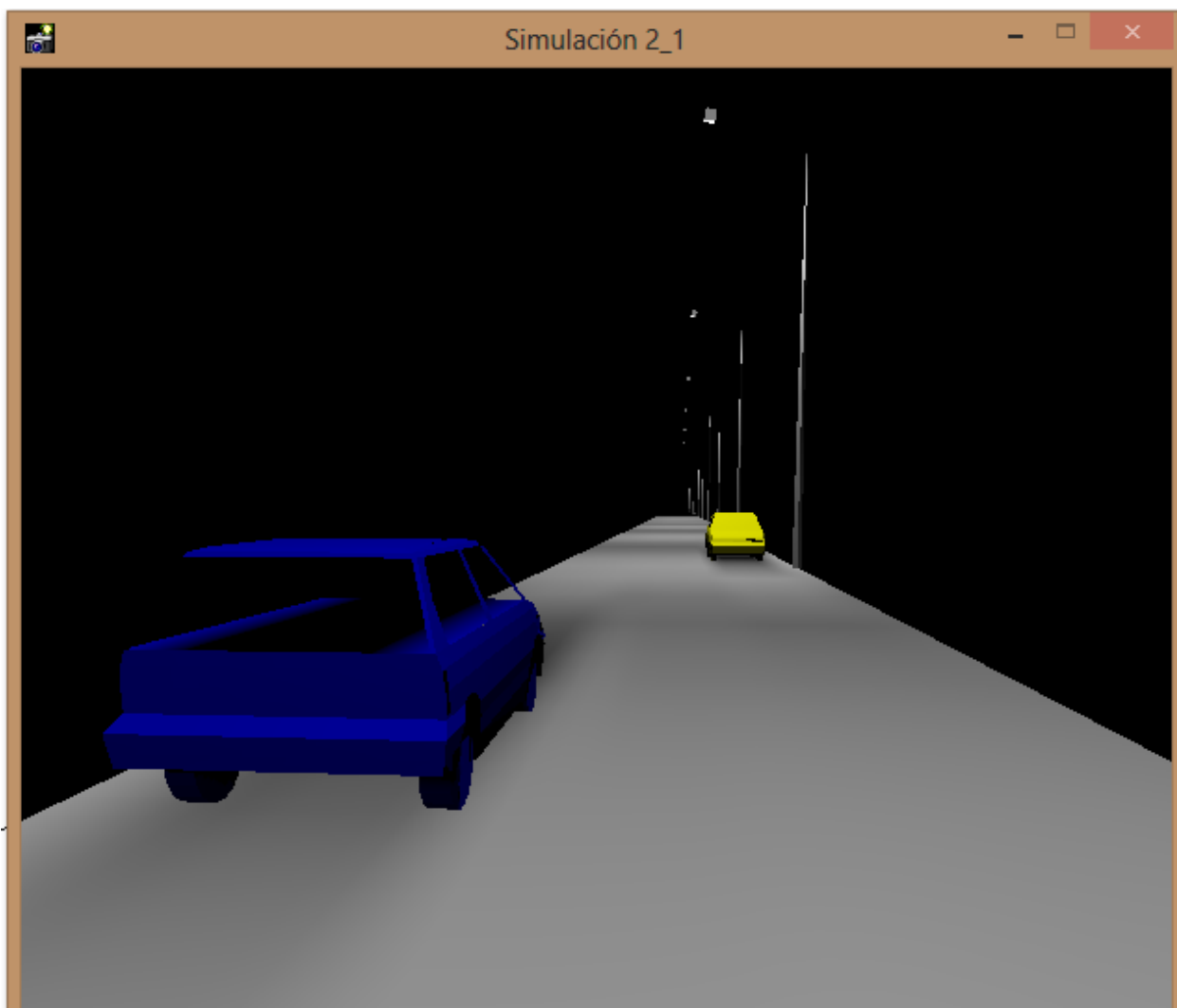


Figura No. 3.8. Vista física de la avenida

32	29	20	20	29	32
33	30	20	20	30	33
32	29	20	20	29	32
30	28	19	19	28	30
28	26	18	18	26	28
25	23	16	16	23	25
22	20	15	15	20	22
19	18	13	13	18	19
16	15	12	12	15	16
13	12	10	10	12	13

Emín = 3 lux

Ems = 15 lux

Emáx = 33 lux

Figura No. 3.9. Distribución de los lux que llegan a la calzada.

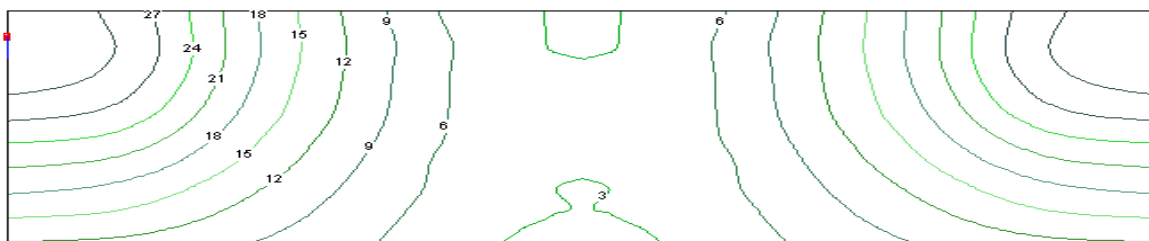


Figura No. 3.10. Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

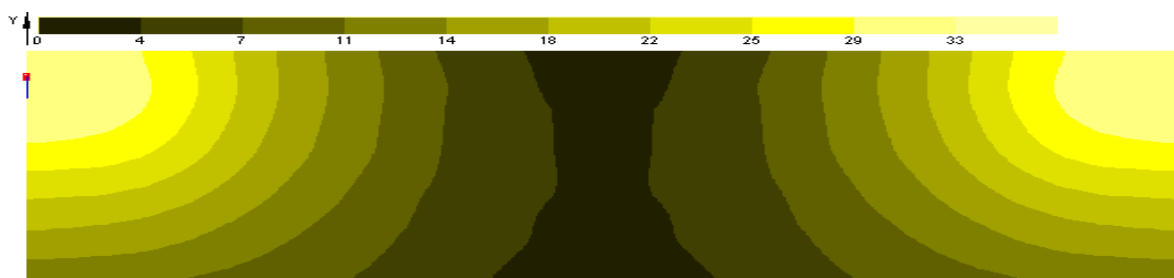


Figura No. 3.11. Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

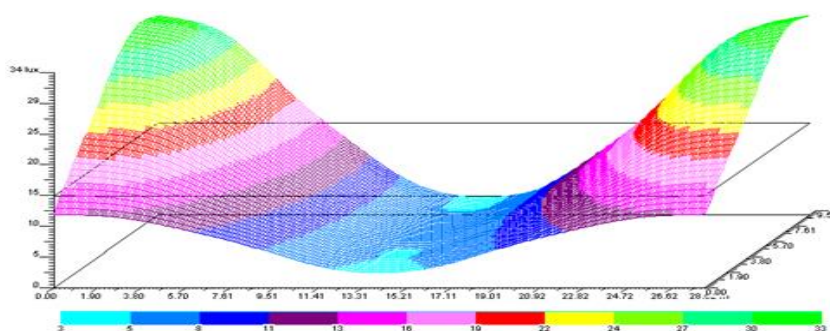


Figura No. 3.12. Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación. (lux)

Avenida Lenin – (Tramo 1).

Disposición de las luminarias: Central doble brazo.

Interdistancia promedio: 30 m

Altura del punto de luz: 9 m

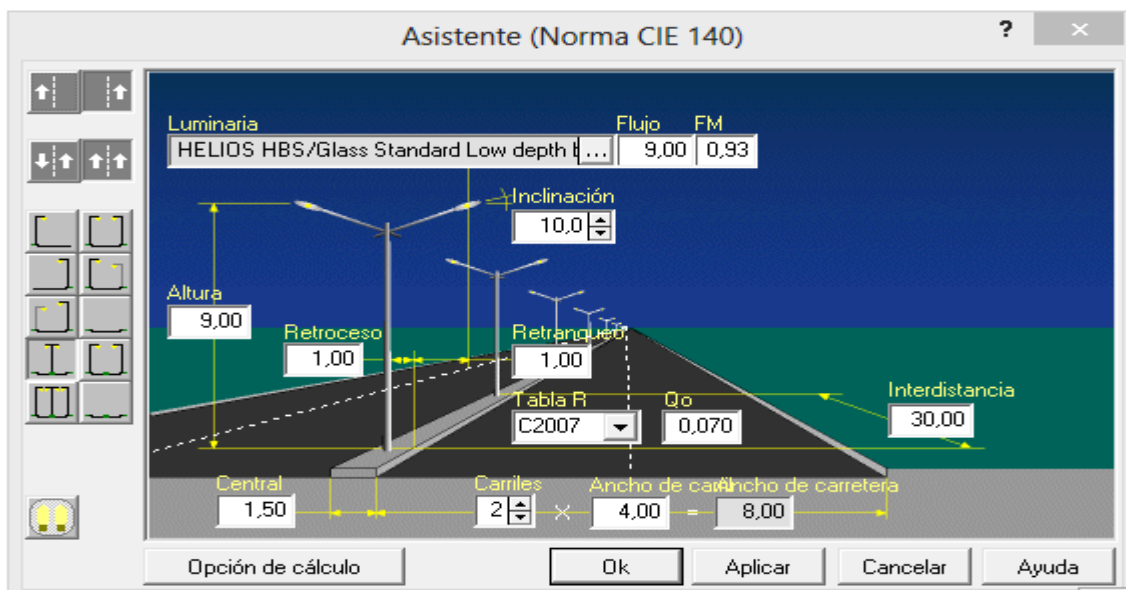


Figura No. 3.13. Configuración de los cálculos

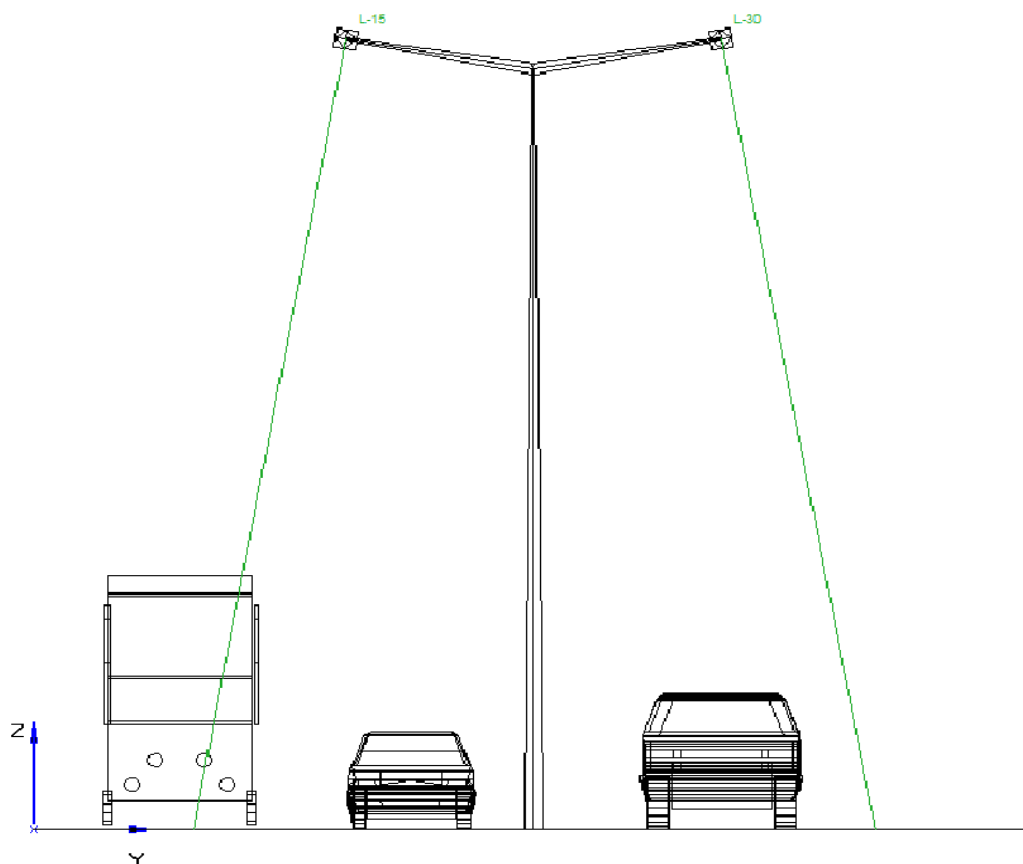


Figura No. 3.14. Vista en tercera dimensión de la avenida

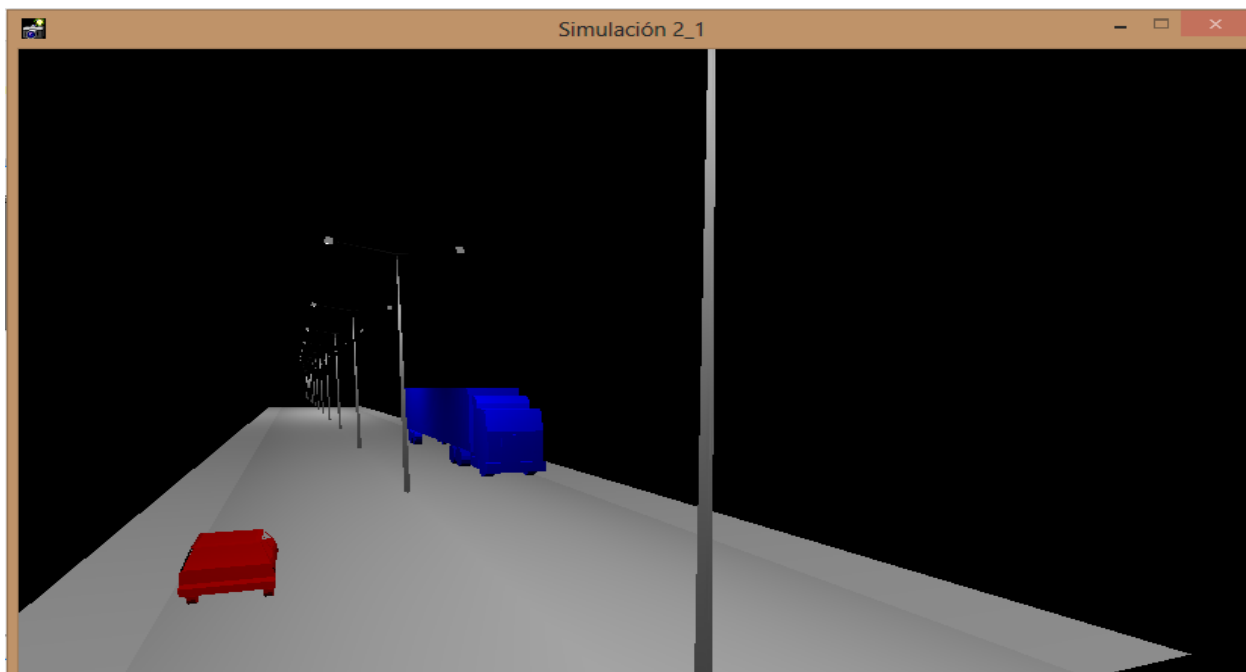


Figura No. 3.15. Representación física de la vía mejorada.

Se escogieron las principales vías para ejemplificar las mejoras en los niveles de iluminación, la mejora de las otras se pueden observar en el anexo 3 y en el anexo 4 los resultados que brinda el software ULYSEE.

En la figura 3.14 se muestra la representación de la luminaria en las torres tipo cuello de cisne existente en el municipio.



Figura No. 3.16. Ubicación de luminarias

3.3.1 Propuesta de una variante simplificada para mejorar el sistema de encendido.

El principal problema en el sistema de encendido del alumbrado viario del municipio Moa, es la gran cantidad de puntos de encendido (interruptores) que presenta. Producto a esta situación los encargados de energizar el sistema se demoran aproximadamente 1:30 min en realizar el encendido del sistema completo, el cual se encuentra energizado aproximadamente 12:30min diario. Para evitar esta demora innecesaria proponemos una mejora sencilla en dicho sistema, empleando fotoceldas en los puntos de encendido ya determinados como se muestra en la figura 3.16.

Ventajas que ofrecen este sistema de encendido.

- Este interruptor fotoeléctrico se compone de una célula fotoeléctrica CDS estanca protegida contra la lluvia.
- Adicionalmente la kit incluye una abrazadera que permite su fijación tanto en una pared como en un tubo
- Posibilidad de ajustes mediante potenciómetro la sensibilidad de encendido y apagado del aparato entre 5 y 45 lux.
- El sistema dispone de una temporización fija de unos minutos para evitar situaciones anómalas como el paso de nubes, deslumbramiento por faros de coches, etc.



Figura No.3.17. Interruptor fotoeléctrico

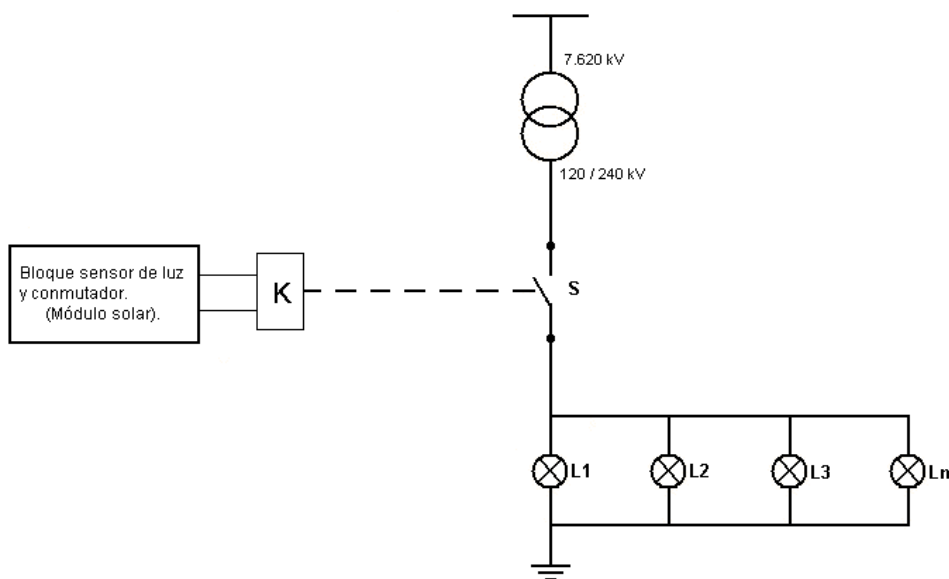


Figura No. 3.18: Esquema simplificado

3.5 Valoración económica.

Para la determinación de la valoración económica del sistema de iluminación a instalar, se tuvieron en cuenta todos los gastos realizados a la hora del cumplimiento del trabajo así como los mantenimientos a realizar y con ayuda del software LITESTAR 5.S3 se realizó el cálculo económico. Debido a que el software ignora algunos aspectos importantes, obliga a profundizar un poco más, para ofrecerles a los interesados en el proyecto una valoración económica lo más real posible.

Se realizará un análisis de costos y recursos para el sistema mejorado propuesto en nuestro trabajo y la otra para proyectar un nuevo sistema de alumbrado viario, en la cual se analizará únicamente la Ave.1^{ra} de Mayo por ser la más importante del municipio. De esta forma podremos obtener una clara idea del costo de un sistema nuevo y compararlo con nuestra propuesta.

Cálculo Económico - Resultados

Costes Anuales		Coste Luminarias	
Coste Anual Capital			
Instalación	1564.73	Coste Luminarias	45026.00
Luminaria	49816.00	Coste Lámparas	4790.00
Total	51380.73	Coste Tot. Material	49816.00
Gastos Corrientes Anuales			
Lámparas	1762.92	Capital Invertido Total	52163.10
Energía Eléctrica	57695.55	Potencia Instalada por m²	3.99
Limpieza	1437.00	Coste Anual por m²	3.74
Total	60895.47		
Coste Anual Total	112276.20		

OK Anular

Figura No.3.19: Cálculo económico realizado por LITESTAR 5.S3

Evaluación del costo y los recursos a utilizar en:

Mejora del sistema de iluminación viaria.

Del levantamiento realizado en conjunto con el personal calificado de la empresa eléctrica en las vías de la ciudad para la correcta ejecución del proyecto, se tomaron los siguientes datos.

Tabla 3.1: Necesidad de Luminarias Leds

Avenidas y calles principales	Luminarias Leds	Torres
Ave. 1 ^{ro} de Mayo	142	
Ave. 7 de Dic.	102	
Calle 1 ^{ra} de Rolo Monterrey.	45	---
Calle 9 ^{na} de Rolo Monterrey	48	5
Ave. Lenin, Calle 1 ^{ra} y 5 ^{ta} de los Mangos.	63	3
Calle José Martí.	15	3
Calle Mariana Grajales.	26	26
Calle Ángel Romero Videaux.	32	
Calle Antonio Boizán.	16	
Calles P.S.A y Camilo Cienfuegos.	53	3
Ave. Calixto García.	20	

Accesos al Hospital.	18	
Total.	580	40

Tabla 3.2: Recursos y costos para la mejora del sistema de alumbrado viario.

Recursos	U	Precio cuc	Cantida d	Costo
Luminarias Led	U	240	580	278400
Conductor de Cobre 8 desnudo.	Tn	4200	3	12600
Tornillos de máquina 1/2 *12.	U	0,67	260	174,2
Relé magnético 220V, 50A.	U	115	21	2415
Brazos para Lámparas.	U	24,9	90	2241
Fotoceldas.	U	12	21	252
Breker de 50A.	U	30	10	300
Perchas con pasadores.	U	4,25	90	382,5
Aisladores de Polea.	U	0,91	90	81,9
Type Plástico.	U	0,3	20	6
Type de goma.	U	0,3	20	6
Conductor TW 10.	m	0,88	2074	1825,12
Torres de alumbrado.	U	60	40	2400
Cimientos para torres.	U	30	40	1200
Total				302283,72 cuc

Ahorro de energía al mejorar el sistema de encendido del alumbrado viario de Moa.

El cálculo de la energía a facturar se realizó basándose en un 90%, según el coeficiente de utilización establecido y 11 horas promedio de utilización, además el cálculo de la potencia en Watt, se efectuó con el valor indicado por el fabricante de las lámparas que trabajan directo a la línea y afectada por el consumo del equipo auxiliar de aquellas que utilizan dispositivos adicionales o balastro para su conexión a la red.

Se realizó el Inventario de Carga de Alumbrado Público del Municipio Moa para determinar el cálculo de la facturación mensual ha sido realizado de acuerdo a lo

señalado, siendo el consumo anual de **1836934 kWh**, que dividido entre 12 meses, corresponde facturar mensualmente **153078 kWh** aplicándole la tarifa B-1 vigente de 0,24 ctvs., con un importe de 37965,93 MN

Ahorro de energía por la sustitución de 580 luminarias de 250 W de vapor de sodio de alta presión por Leds de 100W es 18734 kWh y 4496,16 pesos al mes y 224, 8 MWh y 53953,92 MN al año.

El ahorro por mantenimiento teniendo en cuenta que el costo del mismo es 40 pesos y una lámpara de VSAP su tiempo de vida útil es de 5000 horas y la leds de 100000 horas (23,15 años) se ahorra 23200 por una lámpara.

Para estimar el tiempo de amortización se tiene en cuenta la equivalencia de 1 a una de la MN y el CUC y el ahorro de energía solamente.

Tiempo de Amortización

T Amortización = Costo de la inv. / Ahorro en el año.

= 5 años.

3.6 Conclusiones

En este último capítulo se propuso de manera práctica la solución a las principales dificultades encontradas en el sistema de iluminación viaria del municipio Moa, priorizando la insuficiente iluminación de las vías. Se dejaron bien claras transformaciones a realizar para elevar los niveles medios de iluminación en servicio en todas las vías del municipio, así como los equipos a incrementar a la hora de darle cumplimiento al trabajo realizado, sin dejar por alto el costo económico y el ahorro de energía que proporcionaría al país.

Conclusiones Generales

En nuestro trabajo de diploma se realizó un estudio de las características y condiciones del sistema de alumbrado instalado en la empresa Pedro Soto Alba llegando a las siguientes conclusiones:

1. Se mejoró la eficiencia del sistema de iluminación viaria del municipio Moa, hasta el punto de proporcionar confort visual y seguridad a los conductores y peatones y un ahorro de energía de 224, 8 MWh y 53953,92 MN al año.
2. Se determinó que los niveles de iluminación no cumplen con las normas de seguridad establecida, la inadecuada selección de las luminarias, así como la escasez y mala distribución de las mismas.
3. Se brinda un procedimiento general para el estudio de instalaciones de sistemas de alumbrado público que permite un análisis integral de los aspectos cuantitativos cualitativos y económicos.
4. Se ofrece una metodología práctica para la evaluación técnica-económica y cualitativa preliminar de las variantes de fuentes luminosas que conlleva a la obtención de la más racional, a partir de la iluminación con led.
5. Para la simulación de las vías y la representación de los niveles de iluminación en las distintas calzadas, se utilizaron software profesionales TROLL LITESTAR 5.3 y ULYSSE permitiendo alcanzar los valores establecidos por las normas del CIE.
6. Se tuvo en cuenta la contaminación lumínica, la cual representa un gasto energético y económico injustificado.
7. La metodología utilizada se sustenta en bases científicas, que permite hacer un análisis integral de los sistemas de iluminación teniendo en cuenta las deficiencias en la proyección del mismo.
8. El tiempo de amortización de la inversión 5 años haciéndose factibles las propuestas.

Recomendaciones

1. Analizar la ejecución de este proyecto en el transcurso de este año y el próximo.
2. Las luminarias situadas, no deben exceder un ángulo de 100 con respecto a la horizontal, evitando de esta forma que estas provoquen deslumbramiento y se desperdicie luz hacia el espacio.
3. Realizar la poda de todos los elementos naturales que puedan afectar el tendido eléctrico.
4. Independizar la alimentación del sistema de alumbrado viario utilizando transformadores de alumbrado público.

Bibliografía

1. Alemany Barreras, A. Climatología, iluminación y acústica. Aplicación en la arquitectura. ISPJAE. Departamento de ediciones. 1986.
2. Arámbula González, R- Tesis Profesional- Procedimientos de diseños para iluminar Exteriores – Universidad Iberoamericana México- 1995.
3. ATKIN, Brian (edit) (1988). **Intelligent buildings:** applications of IT and building automation to high technology construction projects, NewYork, John Wiley & Sons.
4. Cabrera Y, George Análisis D. del Sistema de iluminación Viaria del municipio Moa 2005.
5. Catálogo (2001) Sluz
6. Catálogo de iluminación Effere (1995).
7. Catálogo de Lámparas. Silvana, (2000)
8. Catálogo General de iluminación Indalux 2002.
9. Catálogo general de iluminación PHILPS (1997)
10. Catálogo General de la Luz Osran. 1998/1999.
11. Catálogo General de Lámparas y Equipos, (1998/1999/2000)
12. Catalogo Philips tarifa. 2013
13. Conferencia del Comité Electrónico Cubano (1997).
14. Contaminación lumínica .[http://www 14.brinkster.com./luminica/](http://www.14.brinkster.com./luminica/).(1998).
15. Enciclopedia luminotécnica. Este material recoge todos los conceptos luminotécnicos actuales.
16. Feijó Muñoz, J. Instalaciones de iluminación en la arquitectura.
17. FEODOROV; RODRIGUEZ LÒPEZ, EDUARDO. Suministro eléctrico de empresas industriales. La Habana Pueblo y Educación, 1982.
18. Ferreiro, Mason, P Ahorro de Energía Eléctrica en Iluminación.
19. Ferrero Andréu, LI. Optimización de la Eficiencia Energética en Iluminación.
20. Figueroa Oscar. Eficiencia del Sistema de Iluminación Exterior para garantizar la seguridad en la Empresa Ernesto Che Guevara de la Serna 2004.
21. GERARD, Allan & ASH, Joel (1990). Premises Wiring for the Information Age, Computer Technology Research Corp.

-
22. GONZALEZ JORDAN, R.; Ahorro de energía en Cuba. La Habana: Editorial científico – técnica, 1986.
 23. Hidalgo Pérez Omar. Metodología para el análisis Integral de los sistemas de iluminación 2002.
 24. IBI Newsletter (1993). The Intelligent Building Institute, volumen 2, Nº 3, Junio.
 25. Illuminating Engineering Society of North America; Lighting Handbook. Reference and Application;
 26. Información y Tecnología. Domótica; La Casa Inteligente de Premià de Mar; Institut Català d'Energia 1992. ISBN: 84-393-1915-0.
 27. J.I. Urraca Piñero: Tratado de alumbrado público. Ed: Donostiarra, S.A.
 28. Manual de alumbrado Edición Revolucionaria (Traducción al Castellano del manual de Alumbrado Westinghouse. 1986.
 29. Manual de electricista Axa Monterrey.
 30. Manual de Procedimiento para el Diseño y Cálculo de una Instalación de Alumbrado. Centros de Proyectos del Níquel. 1999.
 31. Masorra, Jironella (1986). Suministro Eléctrico Industrial.
 32. Norma Cubana. Compatibilidad electromagnética (EMC). Parte 6. NC IEC 61000-6:2003.
 33. Norma Cubana. Requisitos de diseño para la eficiencia energética—parte 3: Sistemas y equipamiento de calefacción, ventilación y aire acondicionado. NC-TS 220-3: 2005.
 34. Oportunidades de Proyectos MDL en Cuba. 2003.
 35. Osram; Iluminación y Ahorro de Energía. Conceptos Compatibles; Osram 1996.
 36. Papel Central que la Iluminación juega en Ferias.
<http://www.ctio.noao.edu/lightpollution/1999>.
 37. Philips Lighting Ibérica 1995.
 38. Philips Lighting Ibérica; Catálogo Alumbrado Interior y Decorativo Profesional 1998/1999; Philips Lighting Ibérica 1998.
 39. Redondo Quintero, F. Desequilibrio y pérdidas en instalaciones eléctricas. [En línea] [2003-01-09].
 40. Representación de las Características luminosas de las Lámparas y Luminarias 2002.
 41. Robles Laurencio Eficiencia de los sistemas de iluminación Moa (2002)..

-
42. Simón; Manual Técnico de Instalación Vivienda Inteligente Simón; Simón 1996.
 43. Urraca Piñeiro, J.I. Tratado de alumbrado público. Ed: Donostiarra, S.A.
 44. Vela Sánchez A., Garrido Vázquez J. Sistema eléctrico para lámparas de descarga
 45. Vela Sánchez, A.; Garrido Vázquez, J.J. Equipos auxiliares para lámparas de descarga. Instalaciones de alumbrado.
 46. Vela Sánchez, Garrido Vázquez. Equipos auxiliares para lámparas de descarga.

Sítios Webs visitados:

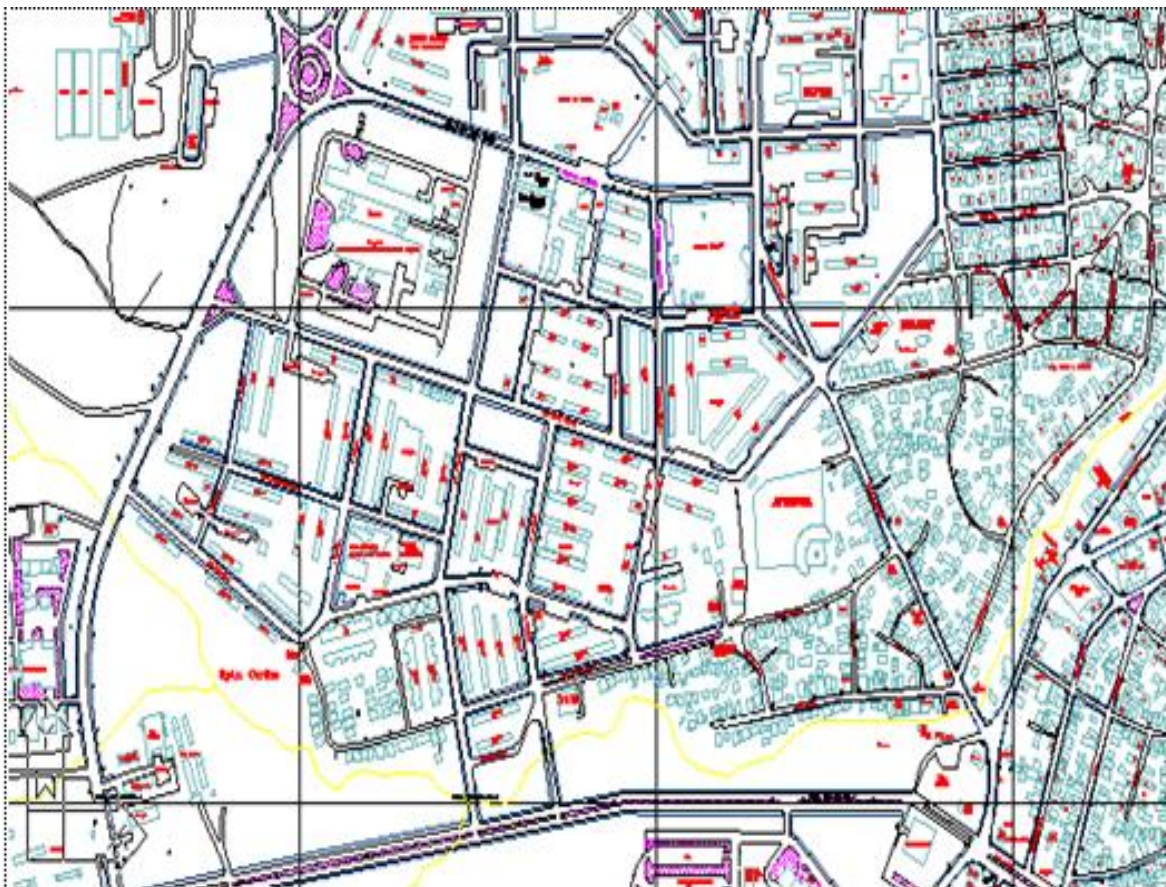
<http://www.clefer.com/2007>
[www.ctio.nao.edu/light pollution/1999](http://www.ctio.nao.edu/light%20pollution/1999).
<http://www.octanorm.es/silumina.htm>.2000.
<http://www.stilar.Net>.
<http://www.cepri.cl/iku>.1998.
<http://www.energuia.com> 1995.
<http://www.energuia.com> 1999.
www.domodesk.com.
<http://www.ca21.com/2007>
<http://www.atpiluminacion.com/2008>
www.eiba.com.
www.inty.com.
www.dinitel.es.
www.camba.com.
www.lsde-ing.com

CD-ROM

Catálogo Philips Alumbrado 99. CD-ROM.
Catálogo interactivo de series de empotrar Merten. CD-ROM

Anexos

Anexo 1 . Plano del municipio



Anexos

ANEXOS 2. SIMULACIONES CON VSAP

Avenida Calixto García – (Tramo 1).

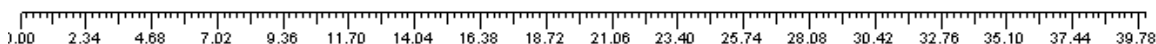
Interdistancia promedio: 35 m

Altura del punto de luz: 9 m

Tipo de lámpara: VSAP 250 W

Distribución de los lux que llegan a la calzada.

28	22	11	3	0	0	0	3	11	22	28
28	22	11	3	0	0	0	3	11	22	28
28	22	11	3	0	0	0	3	11	22	28
26	21	10	3	0	0	0	3	10	21	26
23	19	10	3	0	0	0	3	10	19	23
21	17	9	3	0	0	0	3	9	17	21
18	15	8	3	0	0	0	3	8	15	18
16	13	7	2	0	0	0	2	7	13	16
12	11	7	2	0	0	0	2	7	11	12
9	8	6	2	0	0	0	2	6	8	9

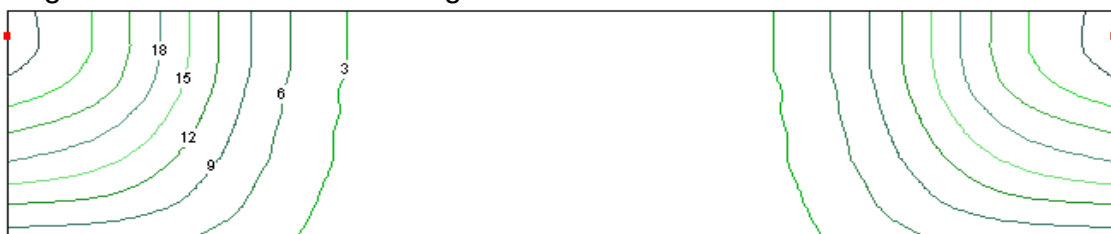


Emín = 0 lux

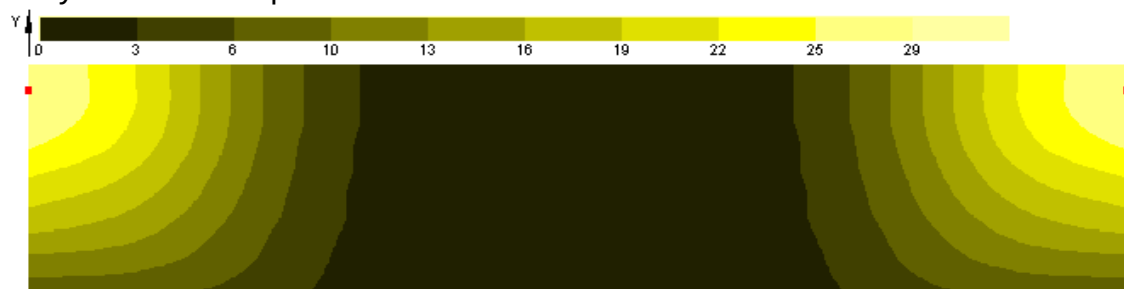
Ems = 9 lux

Emáx = 29 lux

Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

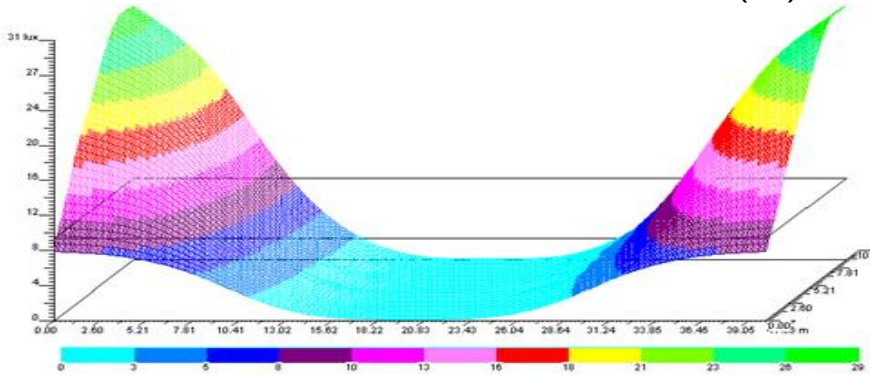


Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.



Anexos

Grafico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).



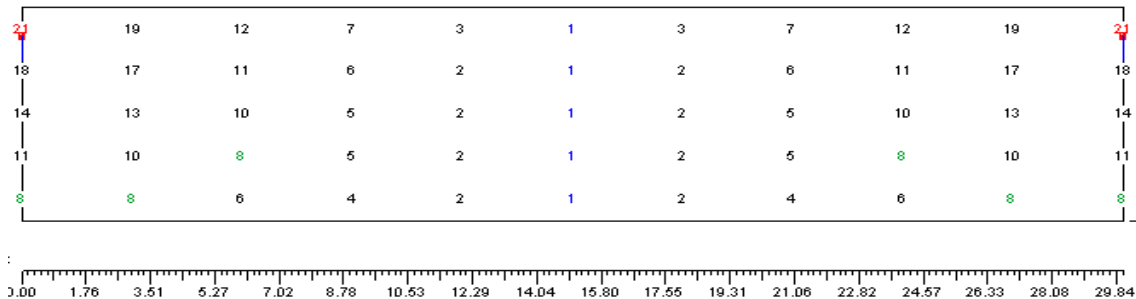
Ave. Lenin – (Tramo 1).

Interdistancia promedio: 30 m

Altura del punto de luz: 9 m

Tipo de lámpara: VSAP 150 W

Distribución de los lux que llegan a la calzada.

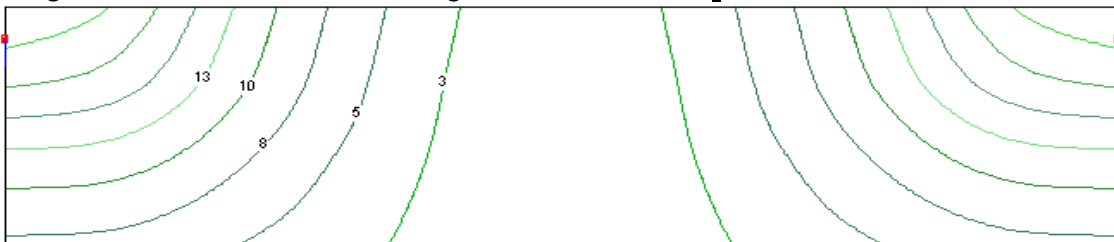


Emín = 1 lux

Ems = 8 lux

Emáx = 21 lux

Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.



Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

Anexos

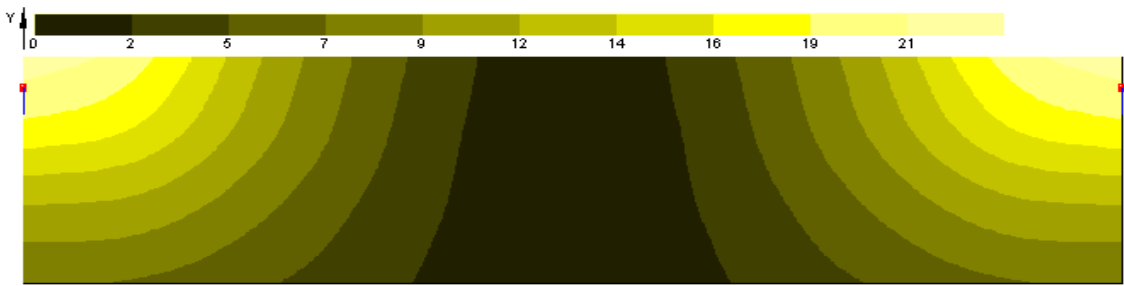
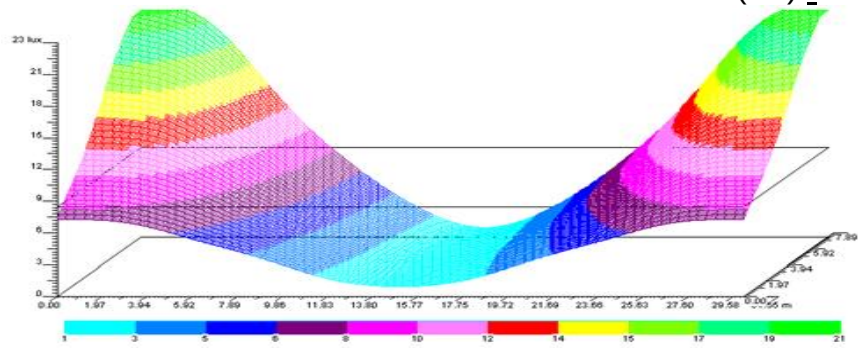


Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).



Anexos

ANEXO 3 SIMULACIONES CON LEDS

Avenida 7 de Diciembre – (Tramo 1).

Disposición de las luminarias: Trebolillos

Interdistancia promedio: 35 m

Altura del punto de luz: 9 m

Distribución de los lux que llegan a la calzada.

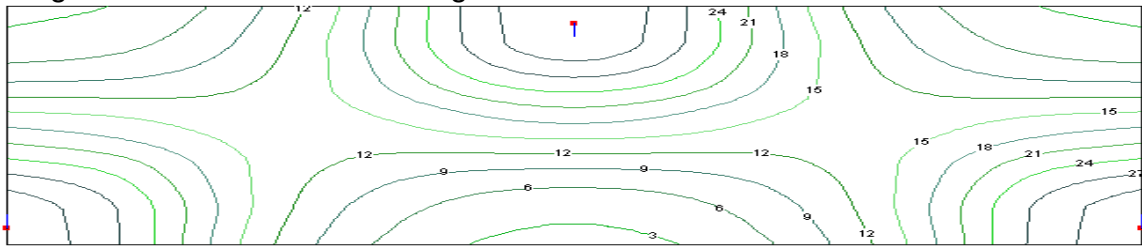
3	4	8	16	27	33	27	16	8	4	3
4	5	9	17	27	32	27	17	9	5	4
6	7	10	16	25	29	25	16	10	7	6
10	11	12	16	22	24	22	16	12	11	10
15	15	13	14	18	20	18	14	13	15	15
20	18	14	13	15	15	15	13	14	18	20
24	22	16	12	11	10	11	12	16	22	24
29	25	16	10	7	6	7	10	16	25	29
32	27	17	9	5	4	5	9	17	27	32
33	27	16	8	4	3	4	8	16	27	33

Emín = 3 lux

Ems = 15 lux

Emáx = 33 lux

Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.



Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

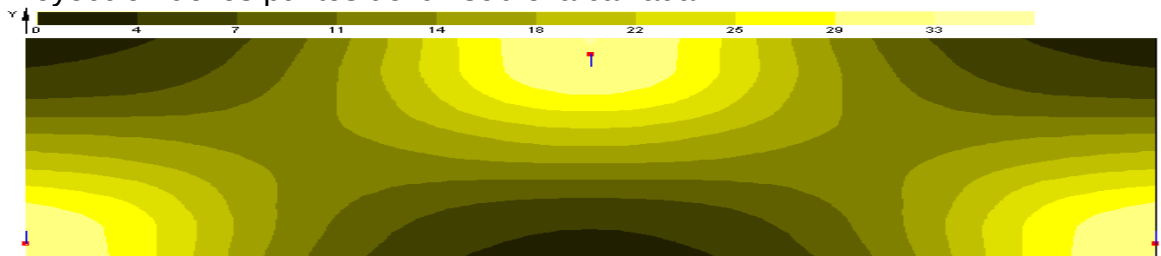


Grafico tridimensional de los niveles de iluminación. (lux)

