

**Trabajo de diploma
Para optar por el título de
Ingeniero Eléctrico**

**Análisis del Sistema de Iluminación del
alumbrado público del Municipio de
Antilla.**

Autor: José Osvaldo Batista Velázquez

Tutores: Dr.C Gabriel Hernández Ramírez

Ms.C Elieski Cruz Martínez

Moa, 2018

“Año 60 de la Revolución”

DECLARACIÓN DE AUTORIDAD.

En decisión conjunta, el autor José Osvaldo Batista Velázquez y los tutores Dr.C Gabriel Hernández Ramírez y Ms.C Elieski Cruz Martínez, certificamos nuestra propiedad intelectual sobre este Trabajo de Diploma con título: “Análisis del Sistema de Iluminación del alumbrado público del Municipio de Antilla”. Somos los únicos autores de este Trabajo de Diploma, y autorizamos al Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa, a hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

José Osvaldo Batista Velázquez.

Dr.C Gabriel Hernández Ramírez.

Ms.C Elieski Cruz Martínez.

PENSAMIENTO

El IGNORANTE critica porque cree saberlo todo, el INTELGENTE respeta porque cree aprender algo nuevo.

Albert Einstein.



DEDICATORIA

A mi Papá y a mi Mamá, por ser los que me dieron la vida. Gracias por su amor, paciencia, empeño y confianza, gracias a ustedes estoy aquí. Son los mejores padres del mundo, los amo.

A mi hermana Anisleydis, gracias por estar conmigo en todo momento, apoyándome en las buenas y en las malas. Siempre podrás contar con tú hermano que te quiere. Y a mi sobrina Helen que es parte especial de mi vida la cual quiero servir de ejemplo.

A Gretel y su familia por apoyarme sin importar nada y estar siempre conmigo.

A mis primos, tíos y abuelos, por ser parte fundamental en mí desarrollo como persona. Por todos los recuerdos que hoy compartimos y los que nos faltan por crear. Gracias.

A mis amigos, que más que amigos, son mis hermanos. Gracias por brindarme su amistad, confianza y por sobre todo, su apoyo, los quiero.

A mis profesores, por haber logrado, después de tanto trabajo, transmitirme sus conocimientos y enseñarme que la vida no es solo trabajo, que primero están la familia y los amigos. Gracias.

A Dios. Por hacer todo posible.

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por su apoyo incondicional.

A mi hermana y sobrina por darme fuerzas.

A mis abuelos maternos y paternos, por confiar en mí.

A mi novia Gretel, sus padres y familia por dejarme ser parte de sus vidas, gracias por tanto.

A Luis F Palacio y Henry Batista por su destacada preparación y participación en mi trabajo.

A Margarita y Jose Alejandro Palacio García por tenerme siempre presente en sus actos.

A mis compañeros de cuarto y de aula que han sido mis hermanos en estos años tan difíciles gracias a ellos estoy aquí: Jose Luis Bajuelos, Luis Dayan Reyes y Roberto Rivera Regalado . Gracias por enseñarme tanto, soportarme y entenderme estos 5 años siempre los tengo presente.

A mis otros amigos del aula Néstor, Adrián, Narry, Julio José, Julito, Indira, Dennis Aniel, Ernesto y otros que aunque se me quedan los tengo presente Y estos que no son del aula pero los quiero mucho de verdad Roberto Méndez y Martín Pupo.

A mis tutores Gabriel Y Elieski.

A mis colegas del Fútbol.

Y a todos los demás que no he mencionado, les ruego que me disculpen, a todos los llevo dentro de mí.

Resumen:

En el trabajo se hace una evaluación al sistema de alumbrado de las calles y avenidas principales del municipio de Antilla, para determinar los niveles de iluminación en las avenidas escogidas y proponer un cambio de luminaria, de la tecnología existente vapor de sodio a alta presión (VSAP) por la tecnología diodo emisor de luz (LED). Primeramente se realiza un diagnóstico en las avenidas donde se encuentran varias deficiencias en cuanto a niveles de iluminación y eficiencia energética. Se verifica el tipo de lámpara existente y su consumo, además de un estudio del nivel de iluminación en dos tramos escogidos. Conjuntamente se caracterizaron las diferentes tecnologías existentes en el mercado y en trabajos precedentes para identificar la más eficiente en estos momentos. Se realizaron simulaciones con un software profesional para verificar la diferencia de iluminación entre la tecnología existente y la propuesta a implementar. También se hace un análisis técnico económico para justificar que la sustitución de lámparas de VSAP por tecnología LED más factible.

Abstract:

In the work an assessment is made to the lighting system of the main streets and avenues of the municipality of Antilla, to determine the levels of lighting in the selected avenues and propose a change of luminaire, of the existing high pressure sodium steam technology (VSAP) by light-emitting diode (LED) technology. First a diagnosis is made in the avenues where there are several deficiencies in terms of lighting levels and energy efficiency. The type of existing lamp and its consumption is verified, as well as a study of the lighting level in two selected sections. Together they characterized the different technologies existing in the market and in previous works to identify the most efficient at this time. Simulations were carried out with professional software to verify the difference in lighting between the existing technology and the proposal to be implemented. An economic technical analysis is also carried out to justify replacing VSAP lamps with more feasible LED technology.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN GENERAL.	1
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.	4
1.1 Introducción.....	4
1.2 Fundamentación Teórico-Methodológica del trabajo.	4
1.3 Revisión bibliográfica.	4
1.4 Base teórica de la investigación.....	6
1.5 Magnitudes y unidades de medida.....	10
1.6 Alumbrado público:.....	11
1.7 Métodos de cálculo.	12
1.7.1 Método del Lumen o del Cálculo del Flujo Luminoso.	12
1.7.2 Método de los nueve puntos.....	17
1.7.3 Cálculo de luminancias.....	21
1.8 Conclusiones del capítulo.	23
CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO.	24
2.1 Introducción.....	24
2.2 Caracterización del objeto de estudio.	24
2.2.1 Caracterización del sistema de alumbrado actual de las avenidas.....	25
2.3 Lámparas de vapor de sodio a alta presión.	27
2.4 Procedimiento para realizar las mediciones.....	28
2.4.1 Descripción del equipamiento de medición.	29
2.5 Programas para simular iluminación exterior.	31
2.6 Niveles de iluminación actuales en las Avenidas y calles de Antilla.	34
2.7 Conclusiones del Capítulo.....	39
CAPÍTULO III: PROPUESTA PARA MEJORAR EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.	40
3.1 Introducción.....	40
3.2 Propuesta para mejorar el sistema de iluminación viaria del municipio Antilla.	40
3.2.1 Tipos de lámparas y la luminaria a utilizar.	41
3.2.2 Lámparas LED.....	42
3.3 Cálculo del sistema de alumbrado de las avenidas.	48
3.4 Valoración Técnico-Económica.....	54

3.5	Impacto social.	57
3.6	Valoración ambiental y medidas tomadas para evitar la contaminación lumínica.	57
3.7	Conclusiones del capítulo.	60
	BIBLIOGRAFÍA.	63

INTRODUCCIÓN GENERAL.

Ante el acelerado desarrollo que ha mostrado el mundo en los últimos tiempos, se ha desencadenado una serie de problemas medioambientales que lo afectan seriamente; y por lo tanto se pone en peligro la vida en el planeta tierra. Efectivamente, la sociedad está cada vez más preocupada por el cambio climático y, sobre todo, por sus consecuencias directas: períodos de extrema sequía, seguidos de grandes inundaciones, huracanes y otras catástrofes. 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 [1]. 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.

En Cuba en el mes de mayo del 2004 el Sistema Electro-Energético Nacional se vio seriamente afectado, al producirse una avería durante un mantenimiento planificado de la termoeléctrica Antonio Guiteras, causando severas afectaciones a la economía nacional. En ese contexto surge, como iniciativa del Comandante en Jefe Fidel Castro, la llamada Revolución Energética. Esta se basó en un programa de sustitución de las viejas centrales termoeléctricas por generadores eléctricos, a fin de disponer de un sistema eléctrico sin fallas y suficiente para la nación, y en la renovación de los viejos equipos electrodomésticos. Sin embargo, lo que comenzó como solución a un problema crítico se ha convertido en una estrategia de empleo racional de la energía. El objetivo fundamental de este proceso era transformar

radicalmente el proceso de generación y ahorro de electricidad, el cual se inició aceleradamente en el 2005 y pronto se tradujo en bienestar y calidad de vida para la población.

Nuestro país aprobó la Política de Desarrollo perspectivo para el uso de las Fuentes Renovables de Energía y Uso Racional de la Energía en la que se establece el cambio de tecnologías del alumbrado con el objetivo de elevar la eficiencia del alumbrado público y reducir el consumo de energía en iluminación basándose en esta nueva tecnología tan novedosa como es la iluminación LED. En el municipio de Antilla un gran porcentaje de la iluminación vial está en mal estado y uno de los principales factores es que en la iluminación no se implementa el presupuesto adecuado. Este es un factor que ocasiona, al momento de escoger el equipo y materiales, que el criterio del precio prevalezca sobre el de calidad. Ante la escasez de presupuesto, el constructor supera su problema inmediato y opta por productos de calidad regular y mediana eficiencia, aunque con el uso del inmueble se compruebe que la parte más cara de este servicio no es su costo de instalación, sino el consumo que genere [2].

Situación problémica:

El sistema de iluminación viario del municipio Antilla no cumple con su objetivo fundamental de proporcionar durante las horas carentes de luz natural, una iluminación de forma eficiente y económica. En esta existen tramos sin iluminación y en el resto, el nivel de iluminación es bajo, por lo que no ofrece la máxima seguridad tanto al tráfico vehicular como a los peatones. Además la tecnología actual en explotación presenta un alto consumo y baja eficiencia si se compara con tecnologías de mayor actualidad como es el caso de la LED.

Problema de la investigación:

¿Cómo incrementar la eficiencia del sistema de iluminación de las vías de acceso principales del municipio Antilla?

Objeto de estudio:

Sistemas de iluminación del alumbrado público.

Campo de acción:

Eficiencia de los sistemas de alumbrado vial.

Hipótesis del trabajo:

Si se analizan las características del sistema de iluminación de las vías de acceso principales del municipio Antilla es posible proponer la implementación de un sistema de iluminación más eficiente y contribuir con el ahorro de energía eléctrica brindando un mejor servicio de iluminación.

Objetivo general:

Proponer un sistema de alumbrado que permita incrementar la eficiencia energética del sistema de iluminación de las vías de acceso principales del municipio Antilla.

Objetivos específicos:

- Evaluar el tipo de luminaria a utilizar en las calles y avenidas.
- Establecer la comparación entre el tipo de luminaria existente y la propuesta según tendencia de ahorro de energía.
- Proponer el alumbrado más factible para el municipio.

Tareas específicas:

- Caracterización del estado actual del problema.
- Elaboración de la fundamentación teórico-metodológica.
- Comprobación de los niveles de Iluminación con los valores de las normas internacionales.
- Proposición de un sistema de alumbrado que cumpla con las normas cubanas de iluminación.

CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL.

1.1 Introducción.

En este capítulo se presentan los conceptos teóricos que se exponen en el trabajo a partir del problema existente, el cual mostrará la necesidad de la realización de dicha tesis y la perspectiva de los resultados para la futura aplicación de los mismos, pues se hace necesaria la indagación de nuevas variantes que aporten al mejoramiento de los sistemas de iluminación con el objetivo de aumentar los índices de eficiencia de los mismos.

1.2 Fundamentación Teórico-Metodológica del trabajo.

Para el desarrollo de este trabajo es necesario abordar aspectos fundamentales a tener en cuenta como las definiciones luminotécnicas y los métodos de cálculo de iluminación más convenientes, según las características de cada vía. A partir de la valoración de estos métodos se muestra un procedimiento general para el estudio o elaboración de proyectos de iluminación para exteriores, teniéndose en cuenta los objetivos propuestos para este trabajo se consideró una investigación de campo, ya que no sólo permite observar, sino obtener los datos directamente de la realidad en el objeto de estudio. Entre los aspectos que deben satisfacer a los usuarios están la comodidad visual, rendimiento visual y otros.

1.3 Revisión bibliográfica.

Para el mejor entendimiento del trabajo es preciso mencionar algunos trabajos precedentes sobre el tema a investigar, con la finalidad de determinar mediante sus resultados las deficiencias y los aportes que brindan entorno al tema propuesto. Diferentes publicaciones ya se han hecho acerca del contenido en cuestión, principalmente a nivel internacional, demostrando la gran importancia y el impacto de este en la esfera socio económico. A continuación se muestran algunos de los más influyentes para la realización de este trabajo.

En este trabajo “Cómo seleccionar y comparar luminarias LED para aplicaciones de alumbrado exterior” [3]. Se hace énfasis en la aplicación del alumbrado tipo LED en exteriores, dando a conocer ventajas y desventajas sobre las técnicas tradicionales

de alumbrado. Además se expone el impacto medio ambiental que ocasionan estas viejas tecnologías y hace alusión sobre los parámetros que brindan los fabricantes; por lo que el documento sirve de guía para la selección de la luminaria a escoger, teniendo en cuenta los diferentes parámetros luminotécnico como la temperatura de color, vida útil, entre otros. Por otra parte no tiene en cuenta la valoración económica de la propuesta a invertir.

La base principal de este trabajo "Eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Moa" [1]. Es elaborar un programa de modernización y mantenimiento del sistema de alumbrado público del municipio Moa con la utilización de la tecnología LED. Para ello se determinan los niveles de iluminación del sistema de alumbrado público y se comparan con las normas vigentes [4]. Lo que hace que la investigación sea bastante completa hasta donde se investigó.

En el desarrollo de este documento, "Viabilidad del uso de luminarias LED en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara" [5], se expone el estudio del sistema de alumbrado de la sección administrativa y vía principal de la empresa con el objetivo de proponer un cambio de la tecnología convencional existente a tecnología LED. Para ello se realiza un levantamiento de los diferentes tipos de lámparas y el consumo nominal de las mismas, así como un estudio del nivel de iluminación normado para cada local y puesto de trabajo.

La investigación tiene como objetivo el diseño de un punto de luz para el alumbrado comercial, que utilizará la tecnología LED (diodo emisor de luz) para su funcionamiento. "Diseño de un sistema de iluminación con tecnología led" [6] Este trabajo es de tipo experimental con diseño de campo, donde se utilizan la observación, encuesta, entrevistas y grabaciones, como instrumentos de recolección de datos, cuyos resultados arrojaron que la tecnología LED, rompe los paradigmas en cuanto a iluminación se refiere ya que es un sistema de alta tecnología que hoy día se utiliza, incluso en los centros comerciales de alto consumo energético en los cuales se evidenció una reducción en el mismo y se demostró su efectividad y su receptividad por los usuarios de este sistema de iluminación a través de la tecnología

LED. El documento sirve como fuente de conocimiento y base de estudio para familiarizarse un poco más con esta nueva tecnología.

En este trabajo “Análisis y propuesta de cambio de lámparas convencionales por lámparas Led en la Empresa Pedro Soto Alba” [7], se realiza una caracterización del sistema de alumbrado existente en los Talleres Eléctricos y Maquinados, así como en la Planta Termoeléctrica de la Empresa Pedro Soto Alba. Se determinan las causas de la ineficiencia del sistema de iluminación y se propone un sistema de alumbrado que cumpla con las normas cubanas para lograr un mayor ahorro de energía.

1.4 Base teórica de la investigación.

Para el desarrollo de este capítulo es necesario abordar aspectos fundamentales a tener en cuenta como las definiciones luminotécnicas y los métodos de cálculo de iluminación más convenientes, según las condiciones arquitectónica y característica de cada local o vía. A partir de la valoración de estos métodos se muestra un procedimiento general para el estudio o elaboración de proyectos de iluminación en exteriores, teniendo en cuenta los requerimientos actuales más importantes. Entre los aspectos que deben satisfacer a los usuarios están la comodidad visual, rendimiento visual y otros.

La luz.

La luz visible es un pequeño conjunto de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$).

El espectro visible es la región del espectro electromagnético que el ojo humano es capaz de percibir. A la radiación electromagnética en este rango de longitudes de onda se le llama luz visible o simplemente luz. No hay límites exactos en el espectro visible: un típico ojo humano responderá a longitudes de onda de 400 a 700 nm, aunque algunas personas pueden ser capaces de percibir longitudes de onda desde 380 hasta 780 nm. Los arcoíris son un ejemplo de refracción del espectro visible. En la Figura 1 se muestra el comportamiento de la luz en cuanto a frecuencia y longitud de onda.

Luz eléctrica es cualquier dispositivo capaz de producir luz por medio del flujo de una corriente eléctrica, produciendo con ello el alumbrado eléctrico o iluminación eléctrica.

Es la manera con la que se iluminan las sociedades industriales, usándose tanto para iluminar la noche como para disponer de luz adicional durante el día; y tanto para el alumbrado público como para la iluminación doméstica.

Las luces eléctricas normalmente se alimentan de la red de suministro eléctrico, pero también pueden alimentarse de forma autónoma o local a través de baterías o generadores eléctricos para servicios de emergencia, como suele hacerse en hospitales u otros locales donde la falta de luz puede ser un grave problema, o para iluminación de puntos remotos, donde la red eléctrica no llega, como los faros.

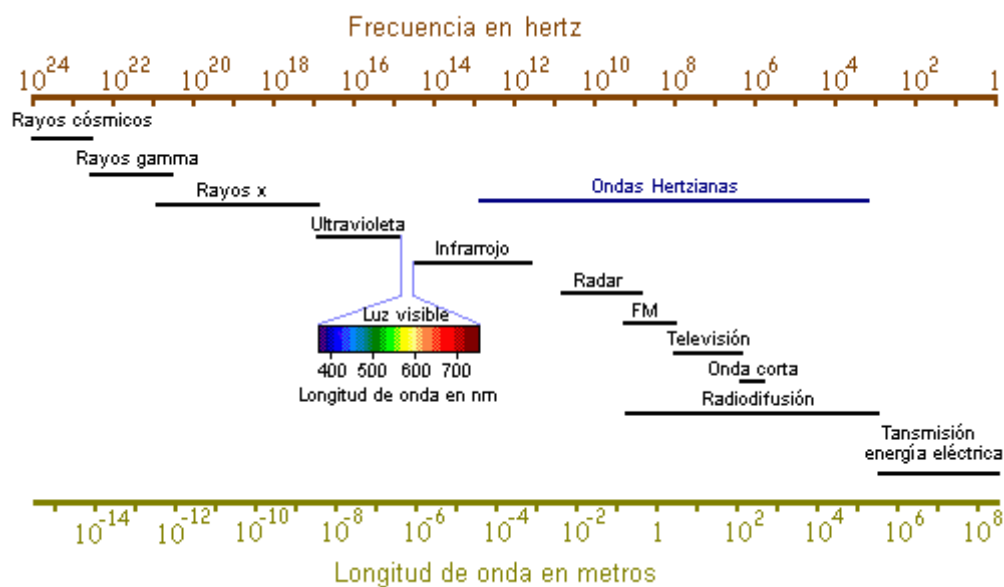


Figura 1 Representación de la luz en frecuencia y longitud de onda [2].

Propiedades de la luz.

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida.

Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose.

De acuerdo a la proporción en que la luz se refleja, transmite y/o absorbe, pueden darse tres variantes: reflexión, transmisión-refracción y absorción.

La reflexión es un fenómeno que se produce cuando la luz choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes (ya sean gases, líquidos o sólidos). La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz sale en una única dirección. Si la superficie es mate y la luz sale desperdigada en todas direcciones se llama reflexión difusa. Y por último, está el caso intermedio, reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Esto se da en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel brillante, etc. Ver Figura 2.

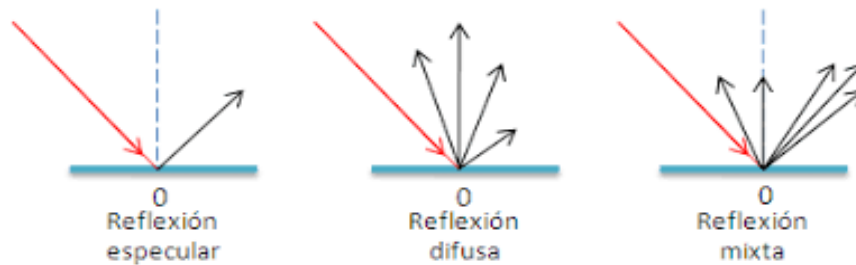


Figura 2 Representación de los tipos de reflexión.

La refracción se produce cuando un rayo de luz es desviado de su trayectoria al atravesar una superficie de separación entre medios diferentes según la ley de la refracción. Esto se debe a que la velocidad de propagación de la luz en cada uno de ellos es diferente. Ver Figura 3.

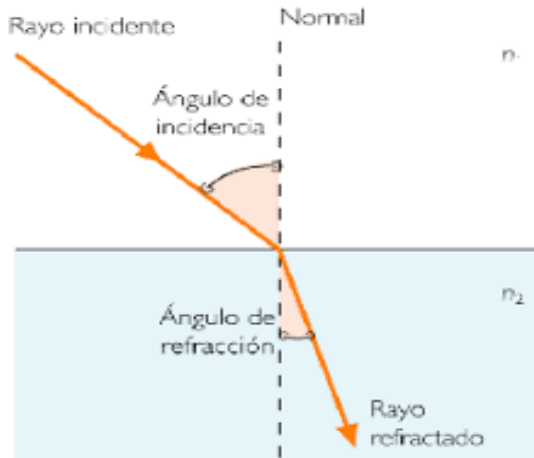


Figura 3 Representación de la refracción.

La transmisión se puede considerar una doble refracción. Si se considera el caso de un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa, que es lo que pasa en los vidrios translúcidos. Y si predomina una dirección sobre las demás tenemos la mixta como ocurre en los vidrios orgánicos o en los cristales de superficie labrada. Ver Figura 4.

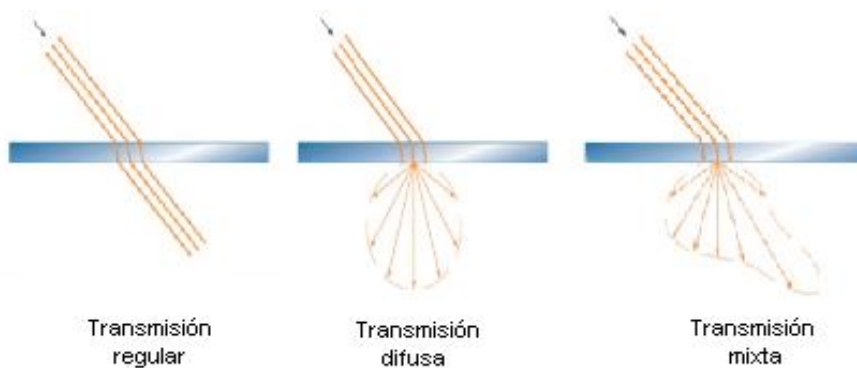


Figura 4 Representación de los tipos de transmisiones.

Una de las grandes ventajas que proporciona la luz es la del alumbrado público en el cual está enmarcado este trabajo [8].

1.5 Magnitudes y unidades de medida.

La luz, al igual que las ondas de radio, los rayos X o los gamma es una forma de energía. Si la energía se mide en joule (J) en el Sistema Internacional, ¿para qué se necesitan nuevas unidades? La razón es más simple de lo que parece. No toda la luz emitida por una fuente llega al ojo y produce sensación luminosa, ni toda la energía que consume, por ejemplo, una bombilla se convierte en luz. Todo esto se ha de evaluar de alguna manera y para ello se definen nuevas magnitudes: el flujo luminoso, la intensidad luminosa, la iluminancia o iluminación, la luminancia o brillo, el rendimiento o eficiencia luminosa y la cantidad de luz.[2]

Flujo luminoso (lm).

El flujo luminoso (F) es la parte del flujo de la energía emitida por una fuente de luz al espacio por unidad de tiempo, que provoca una sensación luminosa. Esta magnitud permite apreciar la cantidad de luz emitida por una fuente, se mide en lumen (lm). Como es lógico la energía luminosa que desprenden las fuentes de luz es producto de la energía eléctrica que ellas consumen. Sin embargo, toda esta energía eléctrica no se transforma en luz visible o flujo luminoso ya que existen pérdidas por calentamientos, radiación ultravioleta e infrarroja. [2]

Intensidad luminosa (I).

Es el flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido (estereorradián). La unidad de medida es la candela (cd) y es igual a 1 lumen por estereorradián. El flujo luminoso nos da una idea de la cantidad de luz que emite una fuente de luz, por ejemplo una bombilla, en todas las direcciones del espacio. Por contra, si pensamos en un proyector es fácil ver que sólo ilumina en una dirección. Parece claro que necesitamos conocer cómo se distribuye el flujo en cada dirección del espacio y para eso definimos la intensidad luminosa. Se conoce como intensidad luminosa al flujo luminoso emitido por unidad de ángulo sólido en una dirección concreta. Su símbolo es I y su unidad la candela (CD). [1]

Iluminancia (E).

La cantidad de luz que llega a la superficie de trabajo, que es el flujo luminoso por unidad de superficie es la iluminación y se mide en lux (lx). Un lux es un lumen por

metro cuadrado. Un luxómetro puede usarse para medir la iluminación, pero no mide la energía utilizada para producir esa luz, ni describe la calidad de la luz. Se define iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm / m². [9]

Luminancia (L).

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la CD/m² [9] .

Rendimiento Luminoso o eficiencia luminosa (lm/W).

Anteriormente, al hablar del flujo luminoso, se menciona que de la energía consumida por la lámpara no toda se transformaba en luz visible. Para hacernos una idea de la porción de energía útil, definimos el rendimiento luminoso como el cociente entre el flujo luminoso producido y la potencia eléctrica consumida, que viene con las características de las lámparas. La unidad es el lumen por watt (lm/W).

Deslumbramiento.

El deslumbramiento es una sensación molesta que se produce cuando la luminancia o brillo de un objeto es mucho mayor que la de su entorno. Es lo que ocurre cuando se mira directamente una bombilla o cuando se ve el reflejo del sol en el agua. Pueden producirse deslumbramientos de dos maneras. La primera es por observación directa de las fuentes de luz; por ejemplo, ver directamente las luminarias. Y la segunda es por observación indirecta o reflejada de las fuentes como ocurre cuando se ven reflejadas en alguna superficie. [10]

1.6 Alumbrado público:

El alumbrado público es el servicio público consistente en la iluminación de las vías públicas, parques públicos, y demás espacios de libre circulación que no se encuentren a cargo de ninguna persona natural o jurídica de derecho privado o público, diferente del municipio, con el objetivo de proporcionar la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades. Por lo general el alumbrado público en las ciudades o centros urbanos es un servicio municipal que se encarga

de su instalación, aunque en carreteras o infraestructura vial importante corresponde al gobierno provincial o regional su implementación.

1.7 Métodos de cálculo.

Elegir el método de cálculo adecuado es importante a la hora de realizar cualquier trabajo por lo que aquí mencionamos algunos de los más importantes, y abordamos algunas cuestiones importantes de cada uno así como la manera en que se calcula con cada uno.[11]

- Método de lumen o del cálculo del flujo luminoso.
- Método de punto por punto.
- Método de lúmenes promedio para el cálculo de proyectores o reflectores.
- Método de los nueve puntos.

1.7.1 Método del Lumen o del Cálculo del Flujo Luminoso.

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. Ver Figura 5.

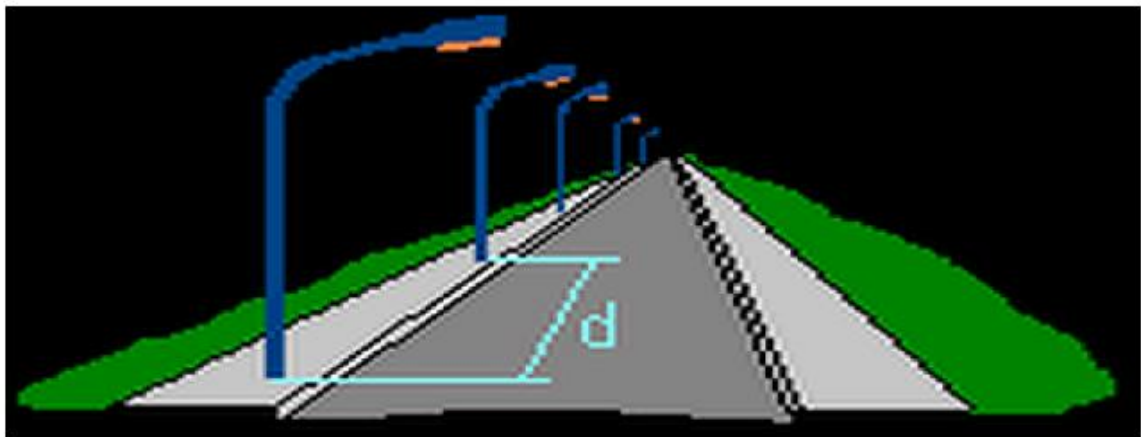


Figura 5 Distancia en la vía.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques de la Figura 6

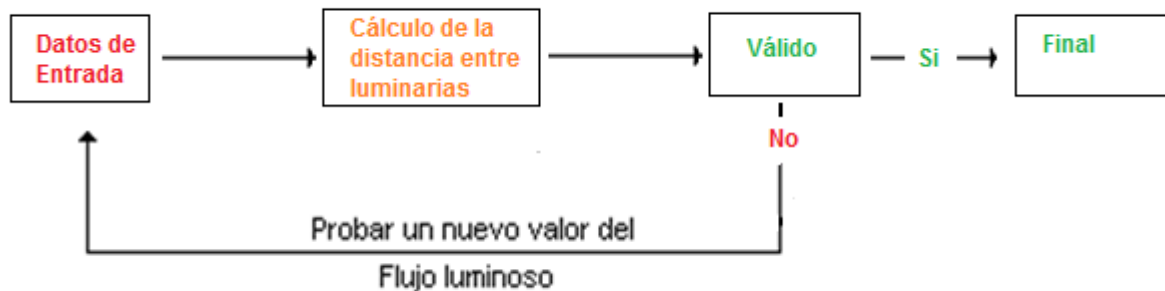


Figura 6 Diagrama de bloques.

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. Ver Tabla 1.

Tabla 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. Ver Tabla 2.

Tabla 2 Flujos recomendados.

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

- Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre la anchura de la calzada y la altura de las luminarias. Ver Tabla 3.

Tabla 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 (fm) 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). Ver Tabla 4.

Tabla 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. Ver ecuación (1.1).

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

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 y γ_2 en el lado calzada y acera respectivamente. Ver Figura 7.

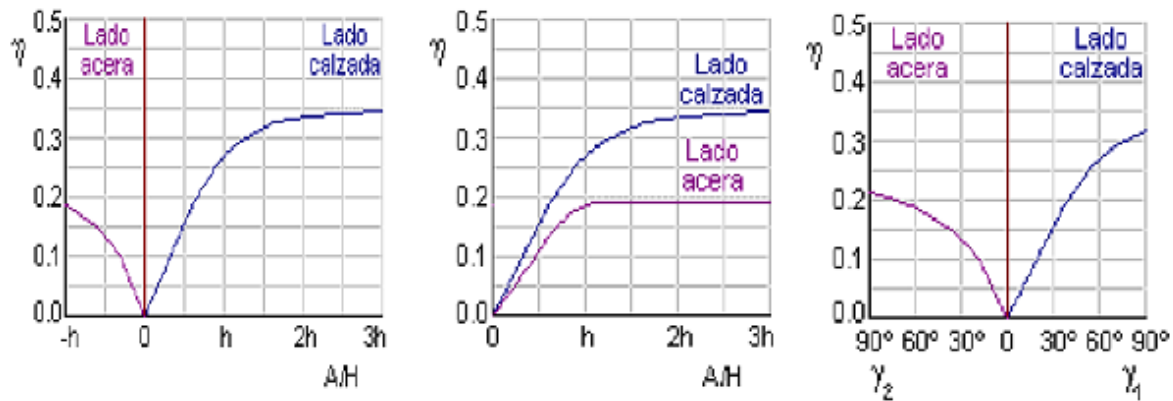


Figura 7. Curvas del factor de utilización.

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. Ver Figura 8.

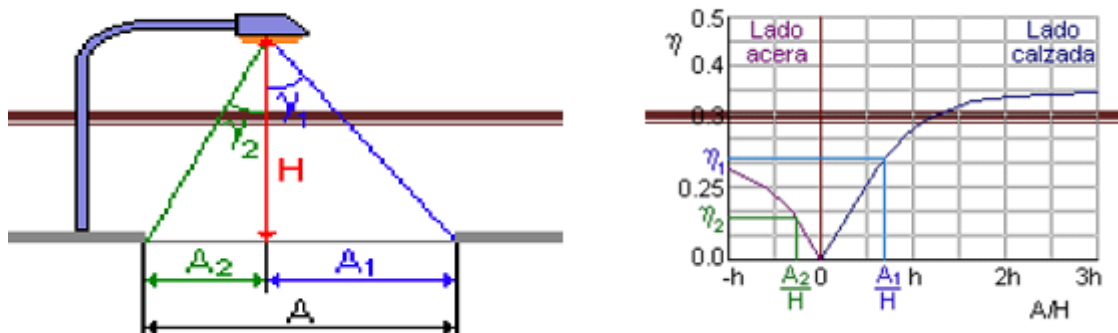


Figura 8 Factor de utilización.

$$A = A_1 + A_2 \quad (1.2)$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (1.3)$$

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. (Ver Figura 8 y ecuaciones (1.2) y (1.3)).

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. (Ver ecuación (1.4)).

$$E_m = \frac{\eta \cdot F_m \cdot \Phi}{A \cdot d} \quad (1.4)$$

Dónde:

- 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 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

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

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

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

1.7.2 Método de los nueve puntos.

Supongamos un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas a una distancia d . Ver Figura 9.

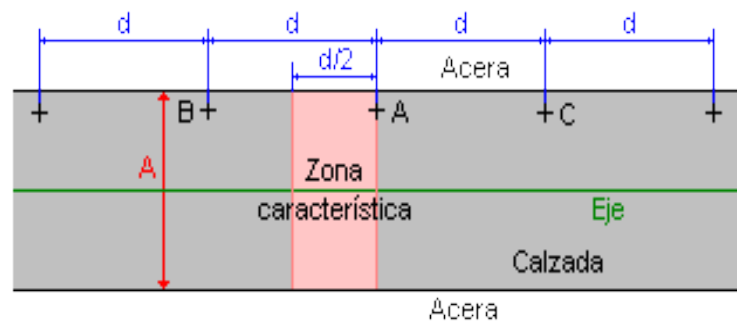


Figura 9 Distancia entre luminarias.

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. Ver Figura 10. El valor medio de las iluminancias será para este caso:

$$E_m = \frac{E_1 \cdot S_1 + E_2 \cdot S_2 + \dots + E_9 \cdot S_9}{S_1 + S_2 + \dots + S_9} = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i} \quad (1.5)$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16} \quad (1.6)$$

Con:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{32} = S_1 \quad (1.7)$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1 \quad (1.8)$$

$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{8} = 4S_1 \quad (1.9)$$

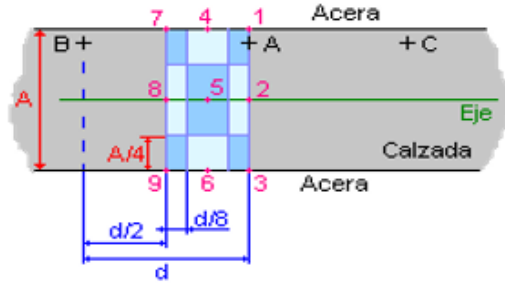
Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de E_m es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

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:

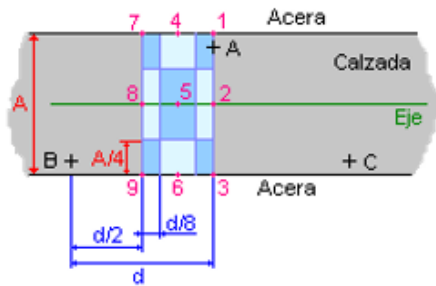
$$E_i = E_{ia} + E_{ib} + E_{ic} \quad (1.10)$$

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16} \quad (1.11)$$



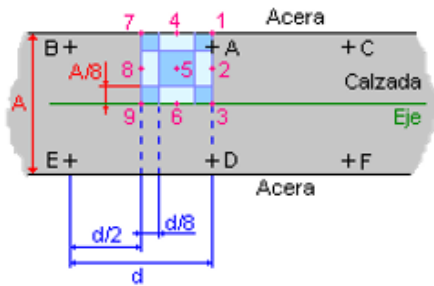
Distribución de puntos en una disposición unilateral

$$E_i = E_{ia} + E_{ib} + E_{ic}$$



Distribución de puntos en una disposición tresbolillo

$$E_i = E_{ia} + E_{ib} + E_{ic}$$



Distribución de puntos en una disposición bilateral

$$E_i = E_{ia} + E_{ib} + E_{ic} + E_{id} + E_{ie} + E_{if}$$

Figura 10 Disposición de la luminarias.

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

$$\text{Uniformidad media} = \frac{E_{\min}}{E_m} \quad (1.12)$$

$$\text{Uniformidad extrema} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} \quad (1.13)$$

Para calcular las iluminancias podemos proceder de dos maneras:

En primer lugar podemos calcularlas usando la fórmula siguiente:

$$E_i = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} \cdot \cos^3 \gamma_i \quad (1.14)$$

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. Ver Figura 11.

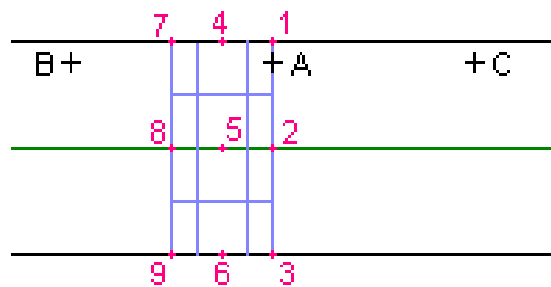


Figura 11 Distribucion de los nueve puntos sobre la calzada.

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. Para mejor comprensión se ilustra con el siguiente ejemplo sencillo. Suponiendo una calle con luminarias de 20000 lm situadas a una altura de 8 m.

Los valores reales de las iluminancias en cada punto se calculan a partir de los relativos aplicando la fórmula:

$$E_r = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{\Phi_c} \cdot \left(\frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c \cdot \frac{\Phi_r}{h_r^2} \cdot \frac{1}{1000} = E_c \cdot \frac{20000}{8^2} \cdot \frac{1}{1000} = 0.3125 \cdot E_c$$

Finalmente, calculamos la iluminancia media y los factores de uniformidad:

$$E_m = \frac{24.1 + 2 \cdot 42.2 + 19.7 + 2 \cdot 17.8 + 4 \cdot 30 + 2 \cdot 16.6 + 10.3 + 2 \cdot 28.1 + 12.5}{16} = 24.75 \text{ lx}$$

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{10.3}{24.75} = 0.42 \quad U_{\text{ext}} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{10.3}{42.2} = 0.24$$

1.7.3 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 Ver Figura 12.

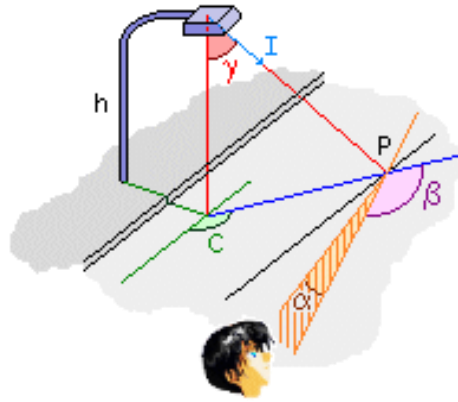


Figura 12 Vista de la calzada.

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot (\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2} \quad (1.15)$$

Luminancia de un punto de la calzada.

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

1.8 Conclusiones del capítulo.

Durante el transcurso de este capítulo se ha expuesto de manera detallada y concreta los principales aspectos relacionados a, características, definiciones y métodos de cálculo existentes en el alumbrado exterior, dándole al interesado en el trabajo una introducción general sobre el tema que se pretende abordar, además de los tipos y métodos de alumbrado principales logrando de esta manera un enfoque demostrativo generalizado acerca del objetivo a desarrollar.

CAPÍTULO II: DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE ALUMBRADO.

2.1 Introducción.

Este capítulo tiene como objetivo básico caracterizar el alumbrado actual que presentan las 5 avenidas o calles objeto de estudio de esta investigación, así como determinar los principales problemas que influyen en el alumbrado vial. Este análisis partirá de las mediciones realizadas a la tecnología existentes basada en el empleo de las lámparas de vapor de sodio de alta presión en el alumbrado público y a través de los cálculos se dejarán identificadas las deficiencias que presenta el mismo para luego en el siguiente capítulo proponer las mejoras pertinentes para erradicar los problemas.

2.2 Caracterización del objeto de estudio.

El municipio de Antilla ubicado en el norte de la provincia de Holguín es el más pequeño de la provincia y uno de los más pequeños de país. Por tener una posición geográfica importante y única fue escogido para desarrollar potencialmente el turismo de sol y playa. Por lo que se prevé que aumente considerablemente la demanda y consumo de energía eléctrica en los posteriores 30 años paulatinamente, siendo así constituye una premisa por parte de la Unión Eléctrica (UNE) minimizar las perdidas principales y deficiencias que existen en todo lo largo y ancho de su sistema eléctrico. Y el sistema de iluminación es una de sus principales problemas por el nivel de deficiencias que posee en la actualidad y se estima que aumente el tráfico peatonal y de vehículos. Algunas de sus principales calles y avenidas son: Ver **(Anexo 1)**:

1. Avenida 28 de Enero.
2. Calle Rene Ramos Latour.
3. Avenida Carlos Manuel de Céspedes.
4. Calle Juan George Soto.
5. Avenida Antonio Maceo.

2.2.1 Caracterización del sistema de alumbrado actual de las avenidas.

Las avenidas y calles estudiadas de Antilla presentan un total de 213 de lámparas, de ellas funcionan 195, no funcionan 18. Todo el alumbrado que presentan estas avenidas es del tipo de vapor de sodio de alta presión con una potencia de 150 W.

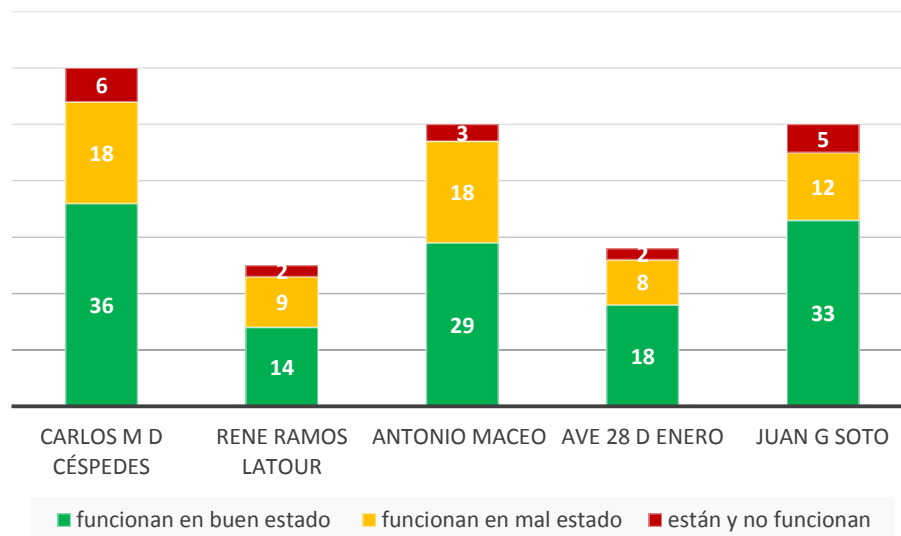


Figura 13 Levantamiento por calles de las lámparas y su estado.

Los resultados de la Figura 13 demuestran que existen zonas entre poste y poste sin iluminación, o sea que no hay uniformidad en la distribución de las luminarias de todas la avenidas, encontrándose unas con mayores iluminación que otras, esto trae consigo afectaciones al confort, seguridad de los peatones y conductores de vehículos. La mala uniformidad también afecta el medio ambiente y de manera especial al hombre, provocando deslumbramiento, la relación de brillo emitido por las lámparas puede no ser adecuado y la difusión de la luz es otro de los factores que puede influir de forma negativa.

Tipos de luminarias existentes en las avenidas.

Dentro de la gran variedad de los tipos de luminarias que se encuentran distribuidos por todas las avenidas encontramos las Cobras Head. A continuación se abordará acerca de sus características técnicas actuales, para así tener una idea de cómo se encuentran los niveles de iluminación y de ahí realizar el estudio para la mejora de este si es necesario.

Luminaria tipo Cobra Head.

La luminaria Cobra Head Ver Figura 14 es apta para utilizar en vías y avenidas principales, calles residenciales áreas de almacenamiento grandes parqueaderos abiertos, parques, bulevares, periféricos y exhibiciones exteriores. Está fabricada bajo la norma internacional: ISO 9002 certificado de fabricación de luminarias.

Su diseño óptimo permite obtener diferentes clasificaciones y excelentes niveles de iluminancias, uniformidades y controles de deslumbramientos. La luminaria puede ser suministrada con los siguientes tipos de refractores:

- Boro silicato primático.
- Vidrio liso plano templado.
- Acrílicos prismáticos con protección ultravioleta.
- Policarbonato prismáticos con protección ultravioleta.

Y sus características son:

- Lámpara de vapor de sodio alta presión: 100 W, 150W ,250W, etc.
- Voltaje 220 V.
- Balastro: reactor



Figura 14 Luminaria Cobra Head.

2.3 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 ($T_{color} = 2100\text{ K}$) (Ver Anexo 3) 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. Ver Figura 15.

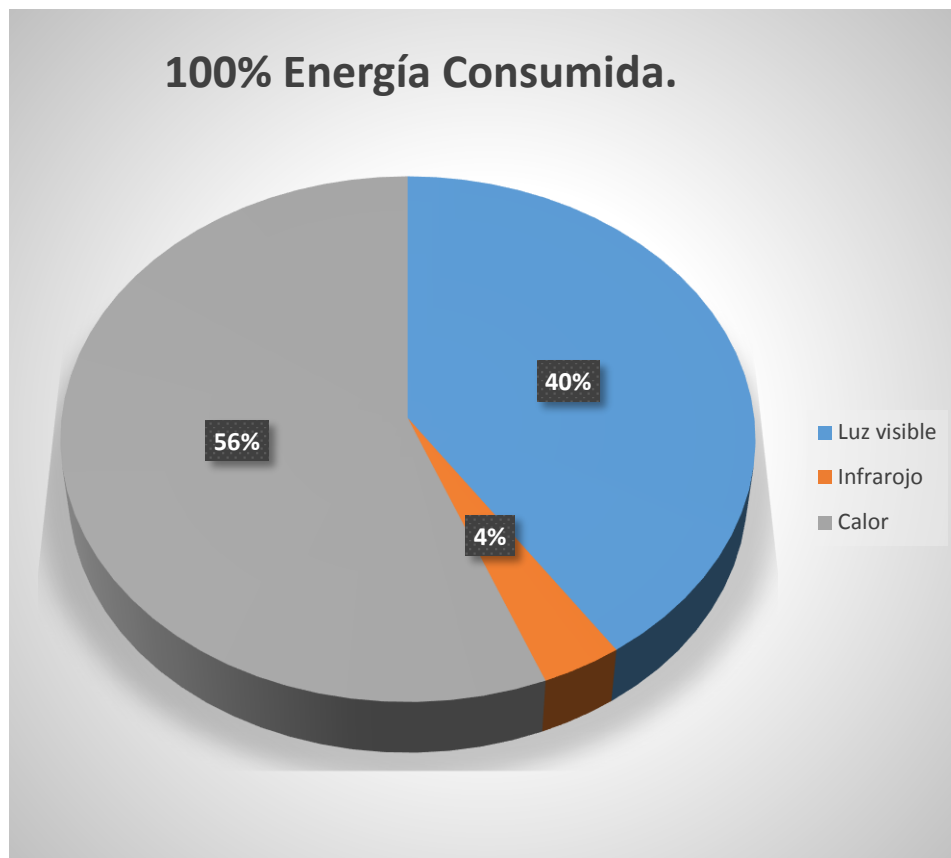


Figura 15 Balance energético de una lámpara de vapor de sodio a alta presión.

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 °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.

2.4 Procedimiento para realizar las mediciones.

Para realizar las mediciones se tuvo en cuenta el siguiente requisito.

- Se realizaron varias lecturas para obtener el valor medio y evitar la introducción de errores.

Mediciones de los niveles de iluminación.

Las mediciones se realizaron durante un periodo de un mes aproximadamente en las 5 avenidas o calles, el trabajo se realizó con una frecuencia de tres veces por semana, para un total de doce mediciones por punto de muestreo. A estos valores obtenidos se le calculó el valor medio y con el resultado se trabajó en el cálculo. Para lograr la representatividad del trabajo experimental se obtuvo el valor medio, el cual se comprobó a través de un análisis estadístico previo que demostró que los valores de la media y de la moda indicaba una distribución normal o gaussiana de la población de datos.

Selección de los puntos de mediciones.

Los puntos donde se realizaron las mediciones se seleccionaron teniendo en cuenta los postes de las avenidas que tuvieran una buena iluminación. 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.

2.4.1 Descripción del equipamiento de medición.

Las mediciones se realizaron con un luxómetro UT382 Ver Figura 16 que es un instrumento portátil designado para la práctica en mediciones de iluminación, este equipo registra fácilmente los valores medidos y opera a un límite de temperatura de 10 a 40 °C.



Figura 16 Luxómetro UT382.

Los resultados que, muestran la Tabla 5 son los valores de iluminación de las calles o avenidas estudiadas.

Tabla 5 Niveles de iluminación por Avenida o Calle.

Calle/Avenida	Largo (Km)	Ancho (m)	Em (Lux)
Carlos Manuel D Céspedes	4,3	7	4.31
Rene Ramos Latour	1,1	7	7.18
Antonio Maceo	3,3	7	4.89
Ave 28 De Enero	1,7	7	5.27
Juan G Soto	3,4	7	4.55

Con los resultados obtenidos en la tabla anterior de las mediciones realizadas en las distintas avenidas o calles, se pudo comprobar que los niveles de iluminación en algunos lugares se comportan muy bajos en comparación con el valor establecido según la norma Cubana para esos tipos de vías. Ver Tabla 6.

A continuación las principales agravantes que se encontraron en el trabajo de campo ayuda a corregir todo lo que se ha dicho de los principales problemas del sistema de iluminación y las Figuras 17,18 y Tabla 5, así lo demuestran:

- 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 principales avenidas y calles.
- 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 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.

Por todas estas deficiencias encontradas, se puede afirmar que el sistema de alumbrado que presentan actualmente las avenidas o calles, carecen de las condiciones necesarias para darle seguridad, confort a los transeúntes y choferes.

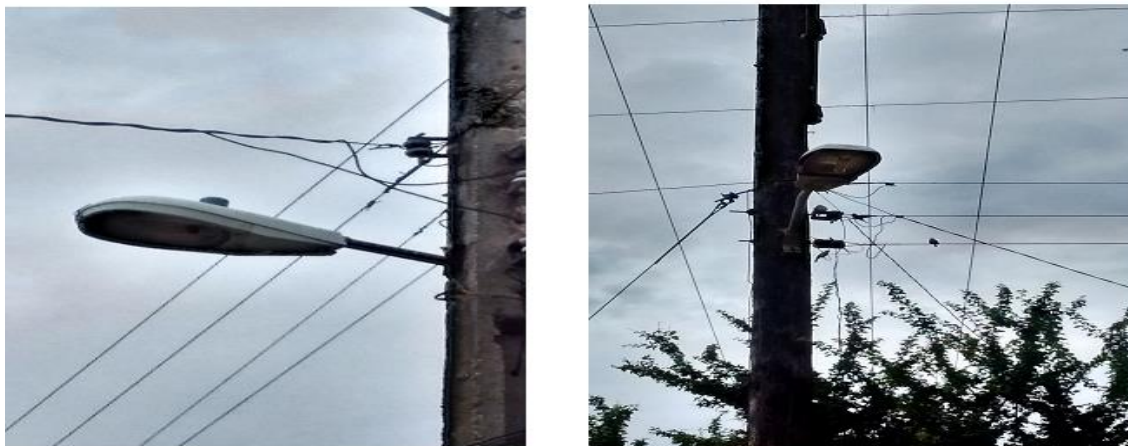


Figura 17 Muestra de las deficiencias del sistema de iluminación.

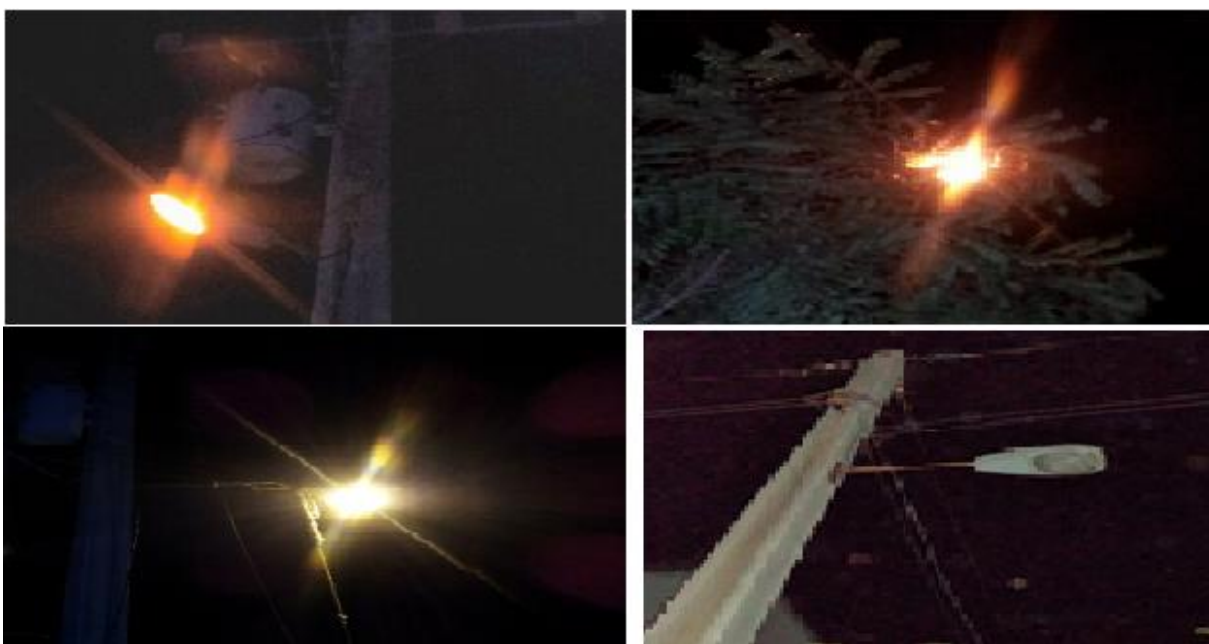


Figura 18 Muestra de los niveles de iluminación nocturno.

2.5 Programas para simular iluminación exterior.

Existe todo un paquete o programa de softwares que permiten partiendo de conocimientos mínimos, desde unos resultados básicos de predimensionados, hasta realizar modelizaciones lumínicas de espacios complejos con múltiples luminarias y diferentes planos de cálculo. Se han desarrollado herramientas de trabajo muy potentes que nos permiten tener idea exacta de cómo puede quedar los proyectos

que vamos a construir además de corregir posibles errores que podrían traer consecuencias nefastas y así corregirlos. En Cuba se utiliza una variedad de estos softwares en muchos proyectos de iluminación, en este trabajo se utilizan y caracterizan solo tres por su comodidad fácil manejo en cuanto a cálculo y simulación [12].

DIALux.

DIALux es un conocido y potente programa internacional de cálculo de iluminación que permite realizar un proyecto integral de alumbrado teniendo en cuenta los estándares nacionales e internacionales (EN 1838: Escena de alumbrado de emergencia: Sólo se calcula la luz directa. No se tiene en cuenta la acción de las luces reflejadas). Está desarrollado por profesionales del mundo de la iluminación y más de 350.000 usuarios a nivel mundial saben valorar la aplicación intuitiva y las representaciones virtuales de los proyectos, además de la perfección técnica y la disponibilidad de datos para planificación continuamente actualizados [13]. Además presenta características elementales que resaltan su uso y aplicación. La Figura 19 muestra una simulación de un sistema de alumbrado viario a través de este software.

- Permite crear fácilmente proyectos de iluminación eficaces y profesionales.
- Portador de datos actualizados de luminarias de los fabricantes líderes a nivel mundial.
- Software actualizado y técnicamente novedoso siempre disponible gratuitamente.
- Realiza una evaluación energética de manera eficaz y rápida.
- Permite crear escenas de luz de color con LED o con otras luminarias con cambio de color.

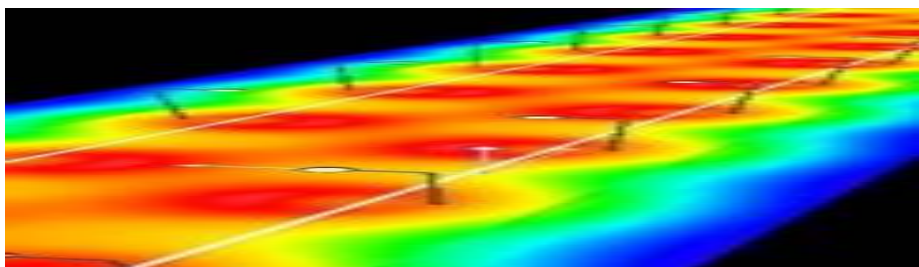


Figura 19 Diseño de iluminación con el software Dialux.

Relux.

Desde hace ya algunos años, Relux es el prototipo de software profesional para diseño de iluminación. Gracias al liderazgo en el mercado de numerosos países, miles y miles de diseñadores de iluminación, se confía, se acepta y se usa este software de diseño. Su manejo intuitivo, su visualización realista, el eficiente acceso a los datos del producto y la precisión de sus cálculos son altamente valorados por los usuarios. Relux Informatic AG, con sede en países europeos, desarrolla, produce y distribuye este software de diseño de iluminación junto a catálogos de productos. Además de operar en todo el mundo y colaborar directamente con sus filiales [14]. Gracias a los aportes de los miembros de Relux, pueden entregarse a los usuarios herramientas de diseño de alta calidad en forma gratuita y ciertos módulos abonando módicos derechos de licencia.

Litestar.

Además de ser un programa para la realización de proyectos luminotécnicos, también es un potente instrumento de marketing y de gestión de todas las fases del proyecto que se realice. Es un programa fácil de usar realizado según la normativa más avanzada a nivel mundial disponiendo de un procedimiento que integra el cálculo y el rendering fotográfico de un altísimo nivel, basado sobre el innovador y revolucionario método del Photon Mapping que sustituye el antiguo método de la Radiosity. Compuesto además con archivos abiertos y configurables en función de las necesidades de los usuarios que permite la inserción de los propios datos, tanto fotométricos como de catálogo, de forma autónoma. Dispone de un sistema de actualización de los datos Internet-ordenador vía Arrastrar y Soltar (Drag&Drop)

mediante los Web Catálogos o bien mediante funciones avanzadas de búsqueda paramétrica cruzada (Cross-Search), que constituyen creaciones exclusivas de OxyTech. Administra los catálogos de los fabricantes de lámparas a los que se pueden añadir las listas de precios, incluso en monedas diferentes generando fichas técnicas, pliegos de condiciones y otros. Todos estos configurables o personalizables según las necesidades requeridas [15]. Administra todo tipo de fotometrías en los diversos formatos estándar (IES, Eulumdat, Cibse) permitiendo tanto la importación como la exportación, así como la visualización de éstas según los estándares más avanzados. Este software es utilizado por miles de profesionales en todo el mundo para la realización de sistemas de iluminación para interiores, viales, túneles e instalaciones deportivas en las que tienen lugar manifestaciones internacionales y se encuentra disponible en 21 idiomas

2.6 Niveles de iluminación actuales en las Avenidas y calles de Antilla.

Con los datos obtenidos a partir de las características físicas de las avenidas y calles, las mediciones con el luxómetro y la utilización de los software LITESTAR 5.S3, se realiza un estudio de diversos tramos de diferentes vías para tener una referencia de los niveles de iluminación existentes reales. Posteriormente se hará una comparación de los resultados obtenidos con los niveles de iluminación exigidos para Cuba.

Representación de los diagramas isolux del sistema de iluminación actual.

Con los datos obtenidos se procedió a simular partir de las características física de la instalaciones y con la utilización del software LITESTAR 5.S3 se realiza un estudio de las 5 avenidas o calles para tener una referencia de los niveles de iluminación existentes así como con el objetivo de obtener los diagramas isolux.

Representación de los niveles de iluminación:

Avenida Carlos Manuel de Céspedes.

Interdistancia promedio: 50 m

Altura del punto de luz: 7 m

Tipo de lámpara: VSAP 150 W

Distribución: Unilateral derecha

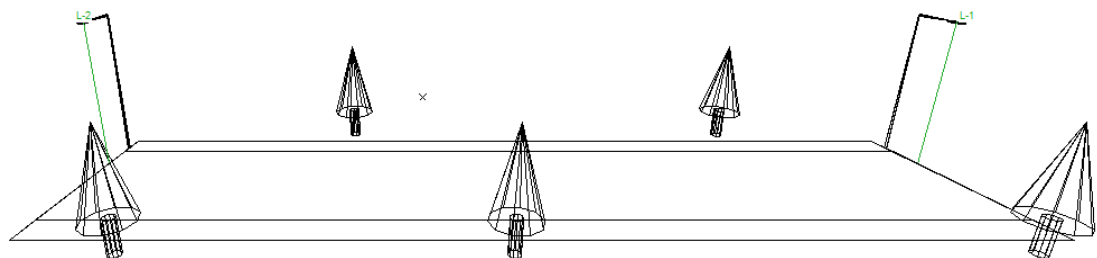


Figura 20 Vista 3D de la avenida Carlos Manuel de Céspedes.

Resultados Iluminaciones [lux]						
	EMed	EMin	EMax	UMed (Min/Med)	UMin (Min/Max)	UMax (Med/Max)
work_plane	4.3	0	17	0.01	0.00	0.29
Acera A	6	0	15	0.01	0.01	0.38
Calzada A	4.31	0	17	0.01	0.00	0.34
Acera B	3.3	0.1	8.6	0.03	0.01	0.39

Figura 21 Resultados obtenidos por el software en la avenida Carlos Manuel de Céspedes.

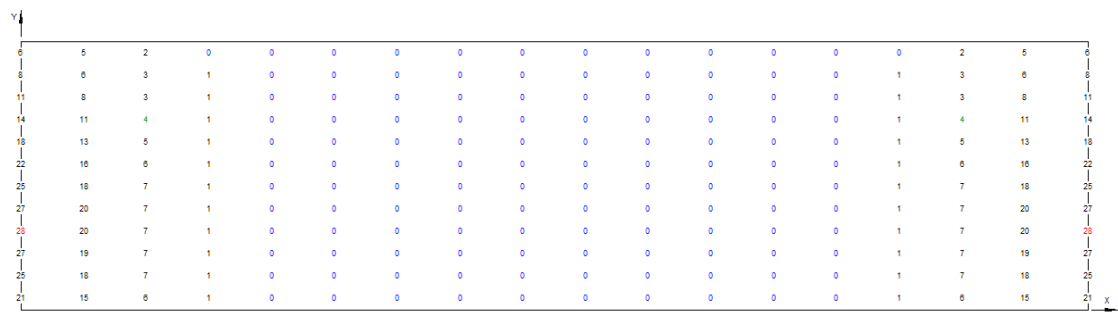


Figura 22 Distribución de los lux que llegan a la calzada.



Figura 23 Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

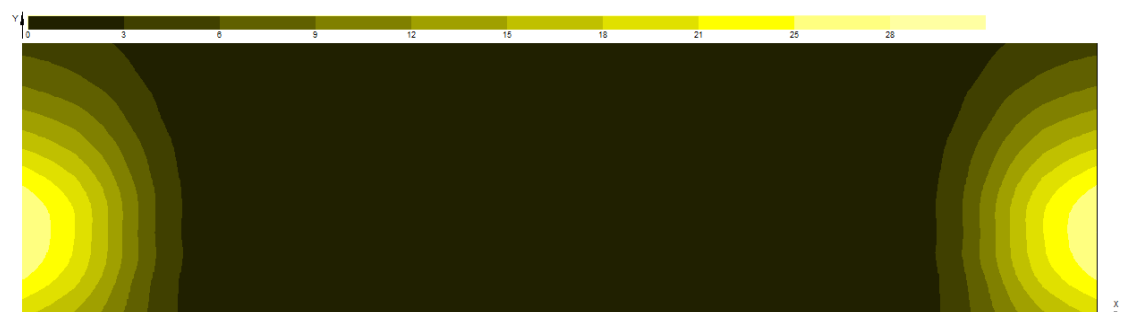


Figura 24 Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

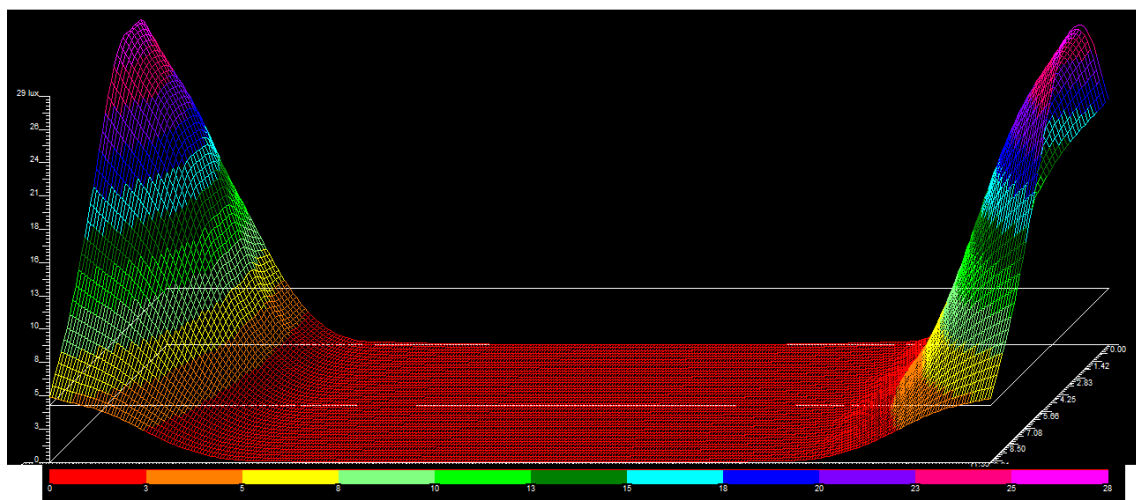


Figura 25 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Calle Rene Ramos Latour.

Interdistancia promedio: 50 m.

Altura del punto de luz: 7 m.

Tipo de lámpara: VSAP 150 W.

Distribución: Unilateral derecha.

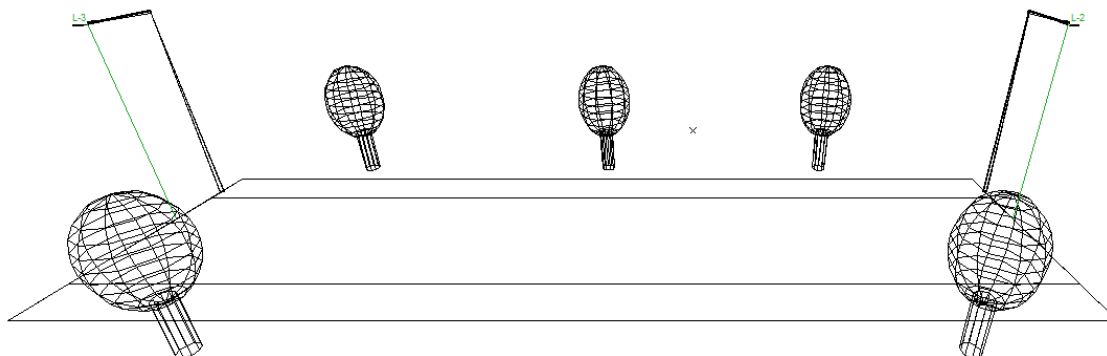


Figura 26 Vista 3D de la calle Rene Ramos Latour .

Resultados Iluminaciones [lux]						
	EMed	EMin	EMax	UMed (Min/Med)	UMin (Min/Max)	UMax (Med/Max)
work_plane	6	0	28	0.01	0.00	0.23
Acera A	7	0	22	0.01	0.00	0.32
Calzada A	7.18	0	28	0.01	0.00	0.28
Acera B	4	0	14	0.01	0.00	0.32

Figura 27 Resultados obtenidos por el software en la calle Rene Ramos Latour.

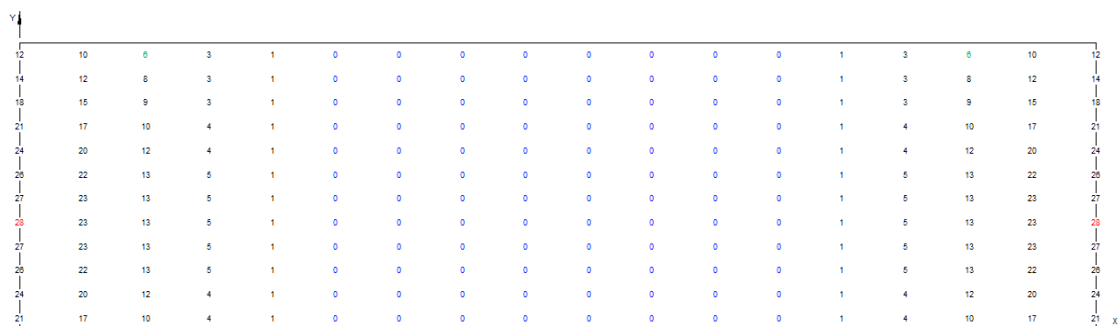


Figura 28 Distribución de los lux que llegan a la calzada.

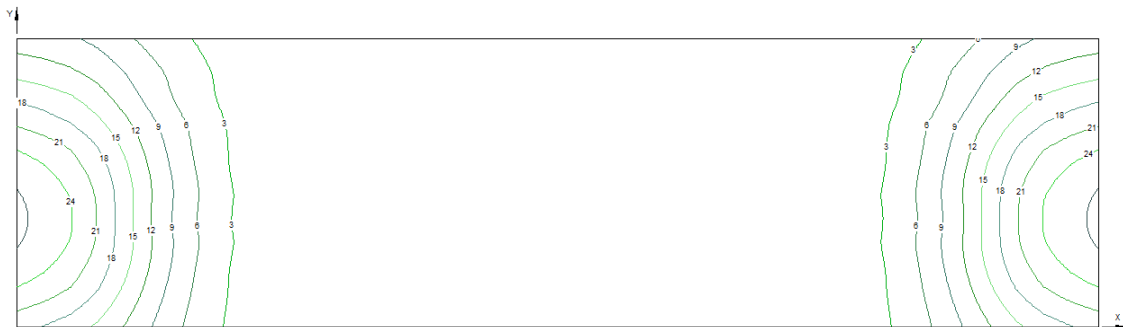


Figura 29 Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

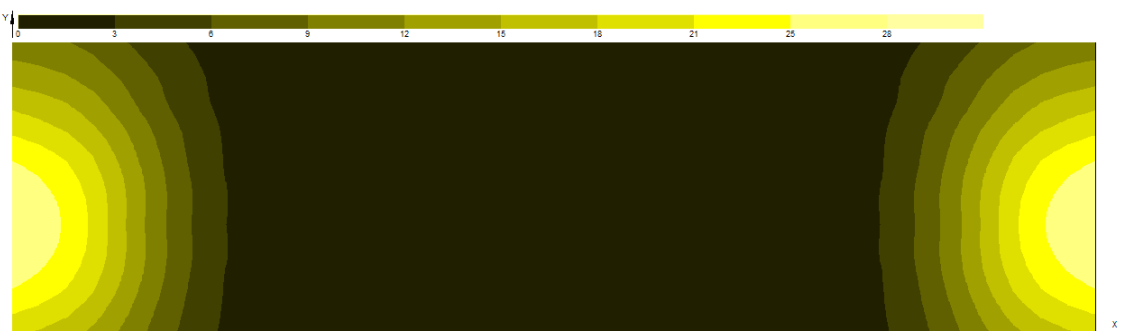


Figura 30 Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

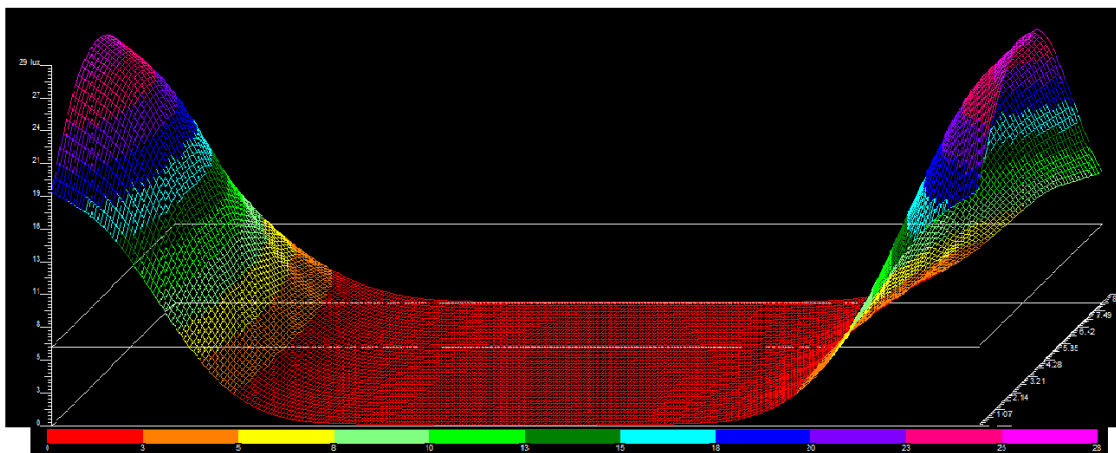


Figura 31 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Se escogieron dos calzadas para ejemplificar la representación de los niveles de iluminación actuales, las restantes se encuentran en el Anexo 4.

Como se muestra en las Figuras de la 20 a la 31 los niveles de iluminación son bajos y no uniformes, ocasionando una serie de problemas que ya se han mencionado

anteriormente. Los mayores valores de iluminación se encuentran en el rango comprendido debajo de las luminarias a medida que se separan de ellas se van haciendo cero.

Tabla 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

Al realizar la comparación de los niveles medios de iluminación (Ems) existentes en todas avenidas y calles de Antilla, con los niveles de iluminación que dice la Tabla 6, se refleja con claridad la diferencia que existe debido a la la escases de las lámparas, la inadecuada distribución y selección de las mismas por tal motivo proponemos un nuevo diseño de alumbrado.

Hay que tener en cuenta que si el estudio se hubiese podido realizar para las calzadas completas, los niveles de iluminación (Emín, Ems) fueran prácticamente cero, debido a esto surge la necesidad de una mejora en el alumbrado vial para lograr un aumento del nivel medio de iluminación hasta 15 lux que es lo establecido por las normas para este tipo de vías.

2.7 Conclusiones del Capítulo.

En este capítulo se determinaron de manera precisa y justificada las deficiencias actuales existentes en el sistema de alumbrado vial 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 MEJORAR EL SISTEMA DE ILUMINACIÓN.

3.1 Introducción.

En este capítulo se propone la solución al problema existente en el sistema de alumbrado viario del municipio de Antilla, 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, postes, tornillos y 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 Antilla.

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 el software profesional 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 3.

Con la realización de esta propuesta 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.

3.2.1 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 están realizando proyectos de este mismo tipo como el de la calle Zanja y Malecón habanero, Varadero, Santiago de Cuba, la avenida libertadores de la provincia de Holguín y más cerca aun, en el propio municipio de Moa.

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

Teniendo en cuenta todos estos aspectos anteriores citados veamos en que consiste una lámpara de arreglo LED para ver si es la que puede dar solución al problema y contribuir así con, las mejoras que se pretenden dar al sistema de iluminación.

3.2.2 Lámparas LED.

En general los LED son básicamente pequeñas ampollitas 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 no requieren ser reciclados a corto plazo.

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 Figura 32 se puede ver un diagrama de la eficiencia energética de una lámpara de LED.

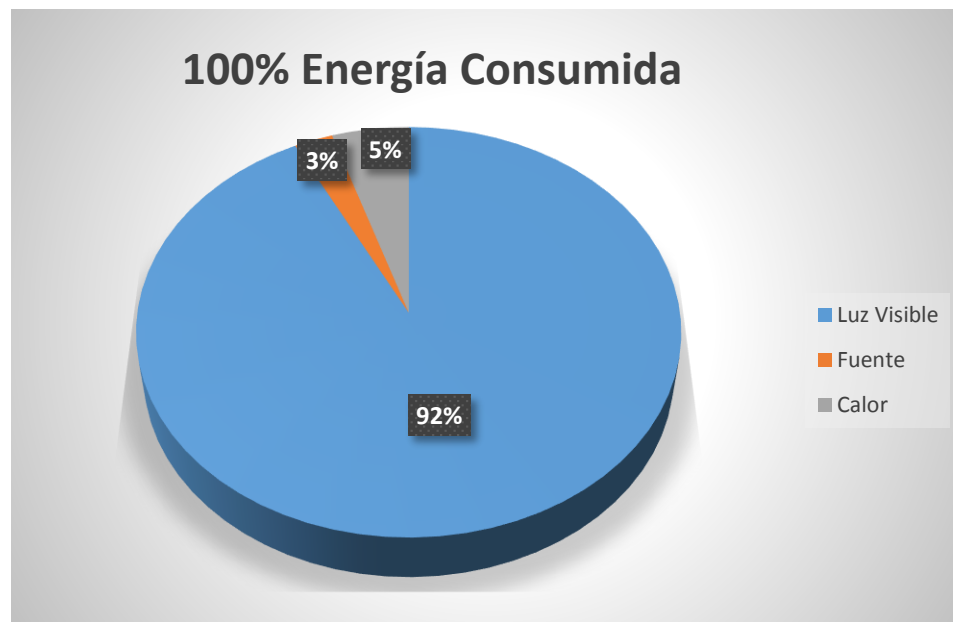


Figura 32 Balance energético de una lámpara de LED.

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 ultravioleta ni infrarrojo, 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.

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. 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

Tipos de chip led.

En busca de lograr el 110% de aquellos que queremos y tener el máximo de cada tecnología los investigadores no se conforman con tener una tecnología mucho superior a lo que antes se había visto, sino que se dan el lujo de probar con ella con el fin de adaptarla a cada uno de nuestros requerimientos y que sea la más ideal y eficiente por eso surgen varios tipos de chips led Ver Figura 33 para lograr el máximo de adaptabilidad a cada lugar que queramos.

1. **COB (chips on board)** Es una tecnología que monta varios chips o leds en una pequeña tarjeta electrónica. Tiene mucha potencia pero requiere de difusores y refractores para focalizar la luz .Pocos se usan hoy en día en dispositivos de alta eficiencia.
2. **SMD (surface mount device)** Es una tecnología que usa leds más robustos montados en una tarjeta electrónica .Se pueden montar varios y así disipar mejor el calor y prolongar la vida útil del circuito.
3. **MICROLED** Es muy parecido al LED COB están contruidos con una matriz de LEDs es decir una concentración de LEDs en una pastilla recubierta con silicona .Gracias a tener insertados multitud de LEDs en un mismo encapsulado ,los LED COB(Chip en la placa) y los MICROLED tienen una gestión de calor mucho mejor

que las luminarias LED SMD. Esta gestión además de optimizar la gestión de calor, soporta largos periodos de actividad, lo que los hace que los MICROLED y los LED COB especialmente propicios para su instalación en lugares de trabajo donde se requiere largas horas de encendido

Al tener claro en que consiste cada tipo de led procedemos a comparar para ver el uso que se le puede dar a cada uno de los LEDs. Y tener una idea certera de donde lo podemos ubicar.

MICRLED y LED COB.

- Tienen un rendimiento lumínico de hasta 120 lúmenes /vatio, dos veces más que un SMD.
- Angulo de apertura de hasta 160 grados.
- LA intensidad lumínica es mayor sin necesidad de concentrar tanto el haz de luz.
- Mayor durabilidad al no necesitar un circuito eléctrico para su funcionamiento.
- Luz multidireccional sin deslumbramiento.
- Mejor gestión de las fluctuaciones eléctricas.

LED SMD.

- Rendimiento lumínico de entre 60 y 70 lúmenes /vatio, la mitad que los LED COB.
- Angulo de apertura de 360 grados ya que los LEDs se pueden distribuir por toda la luminaria.
- Si se daña algún LED existe un dispositivo que los suple para que el resto funcione sin problemas.
- No están diseñadas para estar continuamente encendidas, ya que genera mucho calor y podría afectar a su rendimiento.

- Al no llevar filamento son muy resistentes a los golpes y movimientos
- Gracias a la distribución de LED por la luminaria y combinando los tres LEDs de colores primarios se pueden crear diferentes colores.
- Emite luz unidireccional exclusivamente, por eso es adecuada para las viviendas.

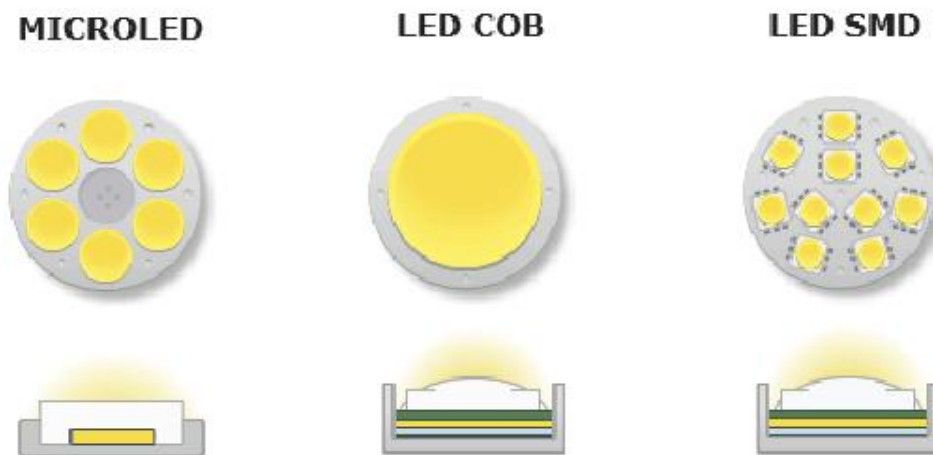


Figura 33 Tipos de chip led.

Viendo todos estos parámetros que se han expuesto en este epígrafe sobre las lámparas led y observando la tabla que viene a continuación, no queda duda ninguna de que es la tecnología led el presente y futuro del alumbrado no solo viario sino de interiores también.

Tabla 7 Comparación entre lámparas de vapor de sodio y led.

Parámetros	Lámparas de VSAP	Lámparas LED
Vida útil de funcionamiento	Entre 5.000 y 15.000 equivalente a 1-5 años	Entre 50.000 o más el equivalente a más de 10 años
Mantenimiento anual	Necesario	Pocos mantenimientos
Consumo	Elevado	Inferior a la media
Eficiencia	25-35%	85-92%
Gastos de reciclajes	Contiene gas, metales pesados como plomo y mercurio que son altamente tóxicos	Bajos
Resistencia a impacto , vibraciones y frecuencia de la red	No, se reduce el ciclo de vida	Si
Dirección de la luz	360°	90°
Circuito auxiliar de arranque	Si	No

Entonces podemos decir que valorando todo lo que aquí se ha expuesto en este capítulo se propone que la lámpara que se implemente sea del tipo de tecnología LED COB con las siguientes características Ver Figura 34.

Características

Potencia Nominal: 120 W + -5%

T de Color: 5 000 k

Tensión Nominal: 150 V -230 V

Vida Útil: +50 000 h

Tensión de Trabajo: 90V- 265 V

Flujo Luminoso: 25 000 lm



Figura 34 Luminaria LEDS propuesta.

3.3 Cálculo del sistema de alumbrado de las avenidas.

Con ayuda del software se realizó el cálculo del alumbrado de las avenidas y calles y se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 8 Cantidad de lámparas LED a implementar por calle o avenida y potencia total.

Avenidas o Calles	Número de Lámparas a Instalar	Potencia (W)
Carlos Manuel D Céspedes	60	7200
Rene Ramos L Tour	16	1920
Antonio Maceo	46	5520
Ave 28 De Enero	24	2880
Juan G Soto	48	5760

Ubicación de las lámparas en las avenidas.

La distribución de estas lámparas se realiza simétricamente. Después de realizar el cálculo con la ayuda del software del número de lámparas necesarias para producir la iluminación deseada, se hace una colocación aproximada de las lámparas, ajustándolas de forma que la distancia exacta entre las lámparas viene determinada por la división de la longitud de la avenida por el número de lámparas, permitiéndose una uniformidad en el nivel de iluminación de las avenidas.

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

Avenida Carlos Manuel de Céspedes.

Interdistancia promedio: 60 m

Altura del punto de luz: 9 m

Tipo de lámpara: Led 120 W

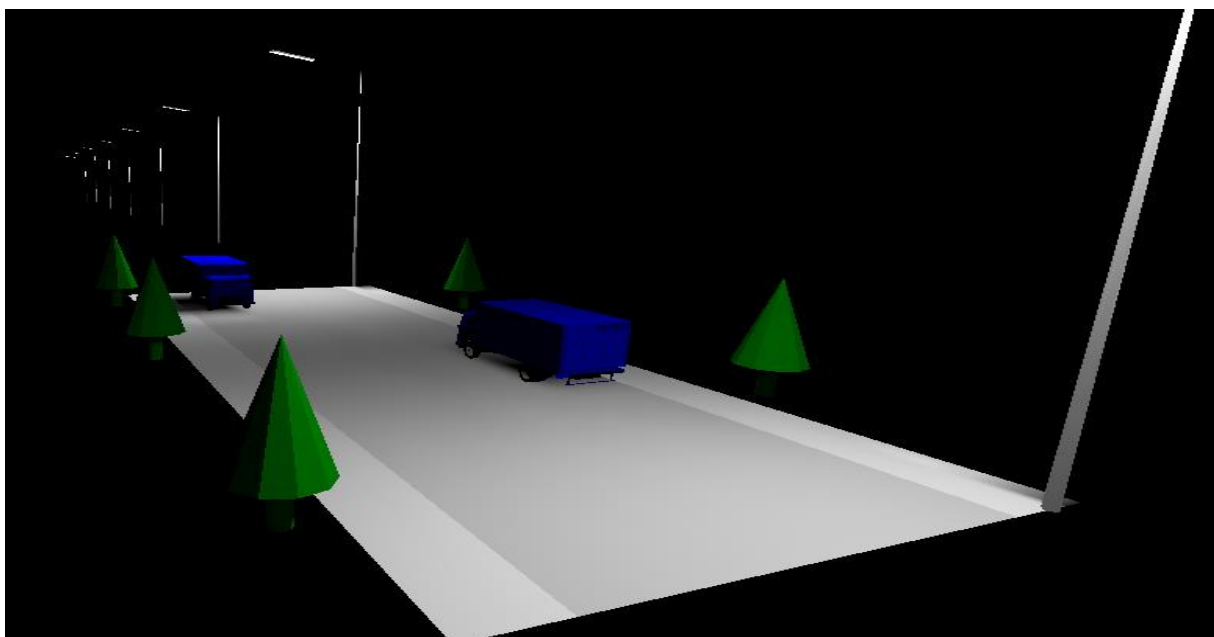


Figura 35 Representación física de la vía mejorada.

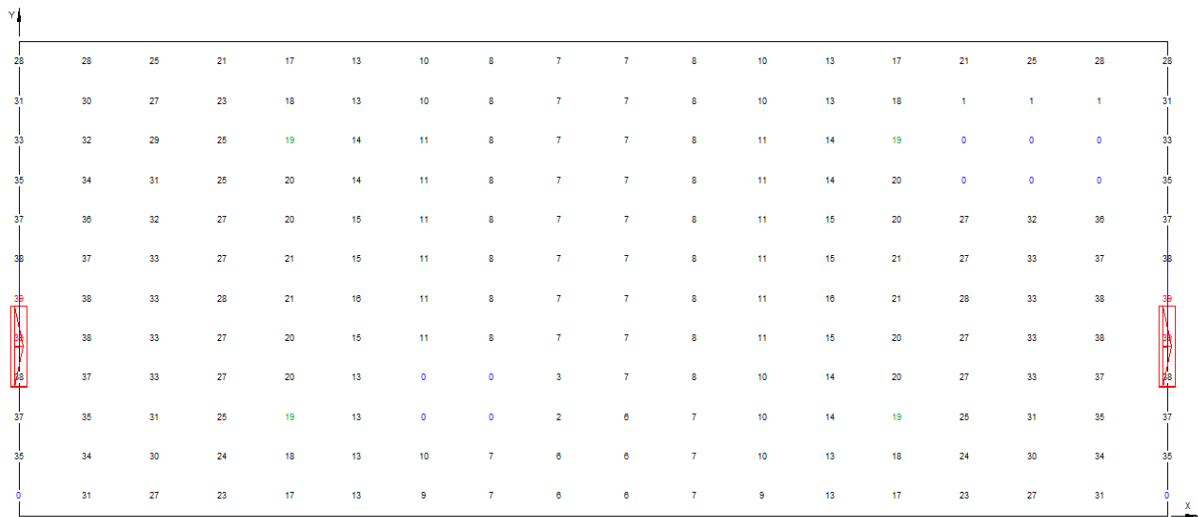


Figura 36 Distribución de los lux que llegan a la calzada.

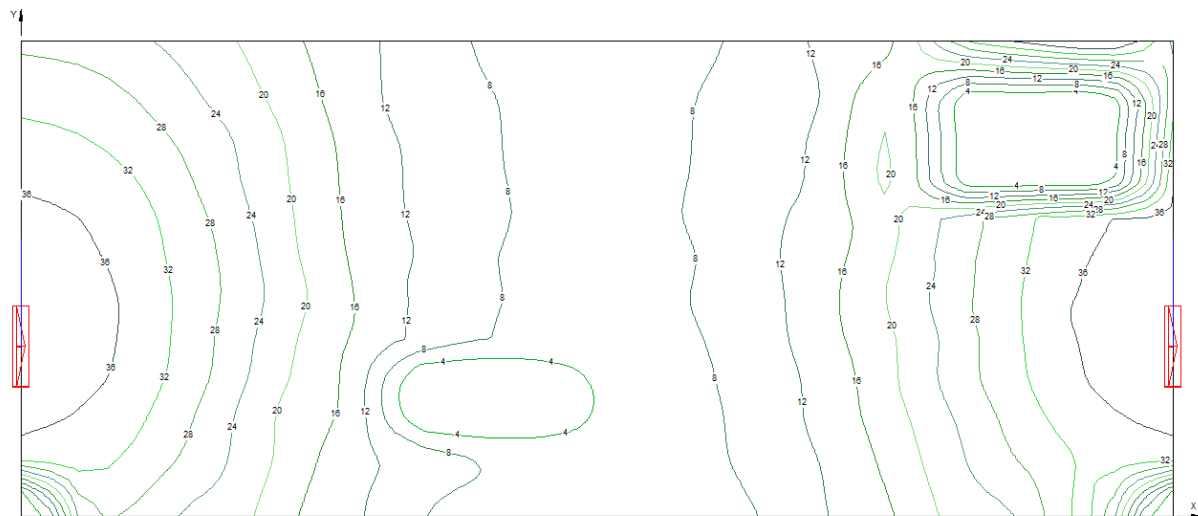


Figura 37 Distribución Isolux del tramo escogido de la calzada.

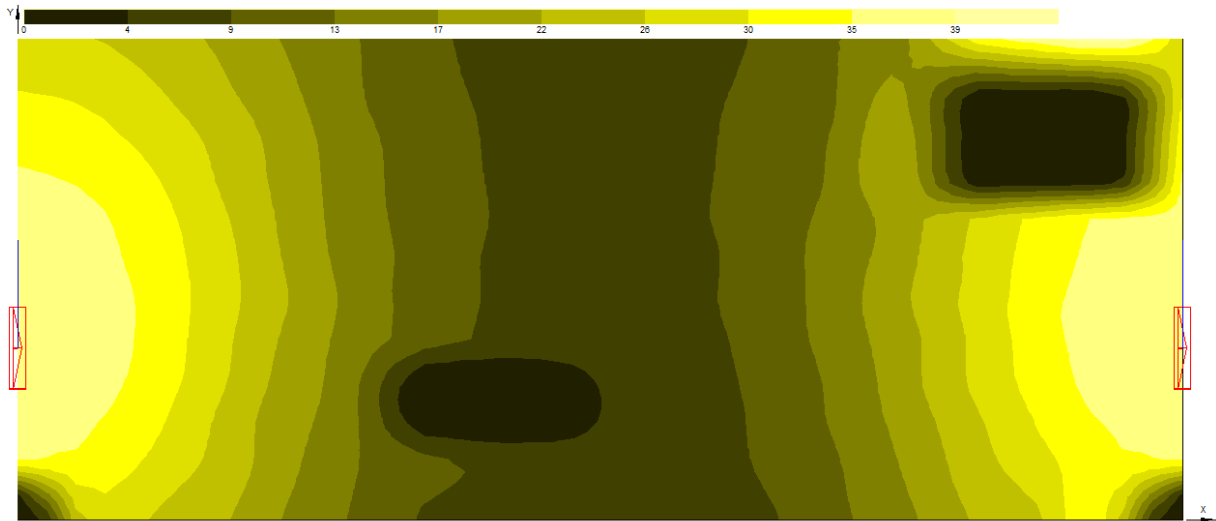


Figura 38 Proyeccion de los puntos de luz sobre la calzada.

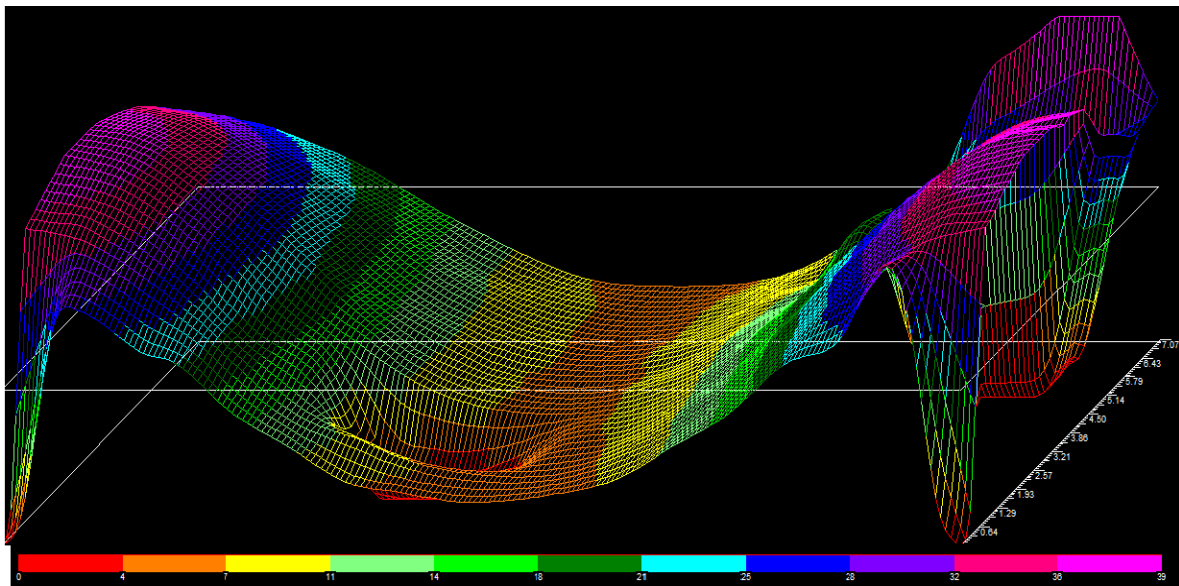


Figura 39 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux)

Calle Rene Ramos Latour

Interdistancia promedio: 60 m

Altura del punto de luz: 9 m

Tipo de lámpara: Led 120 W.



Figura 40 Representación física de la vía mejorada.

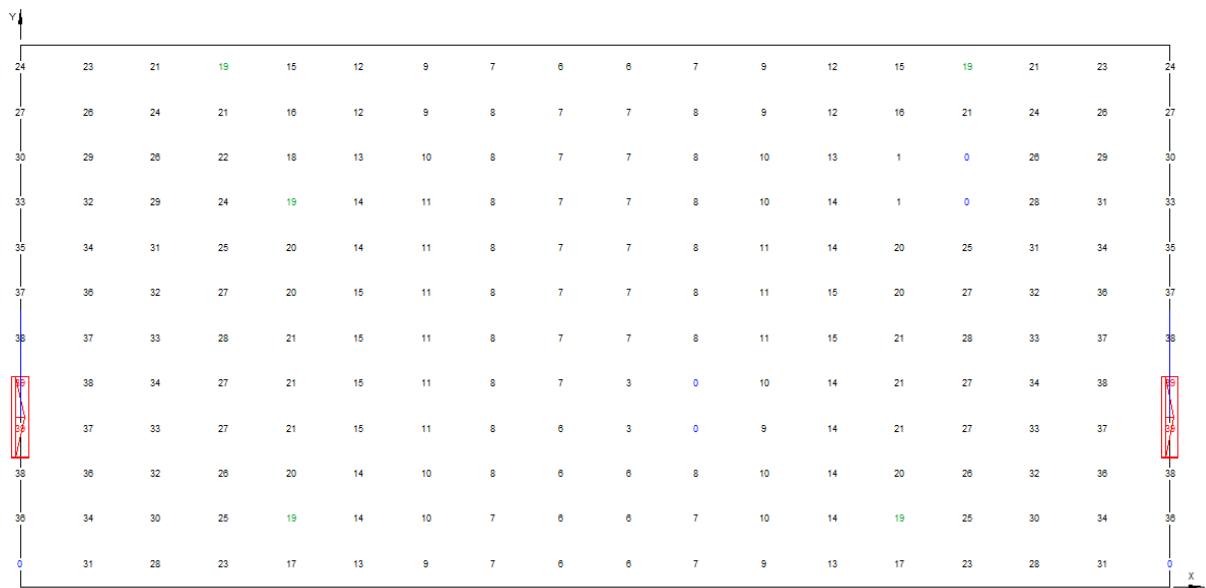


Figura 41 Distribución de los lux que llegan a la calzada.

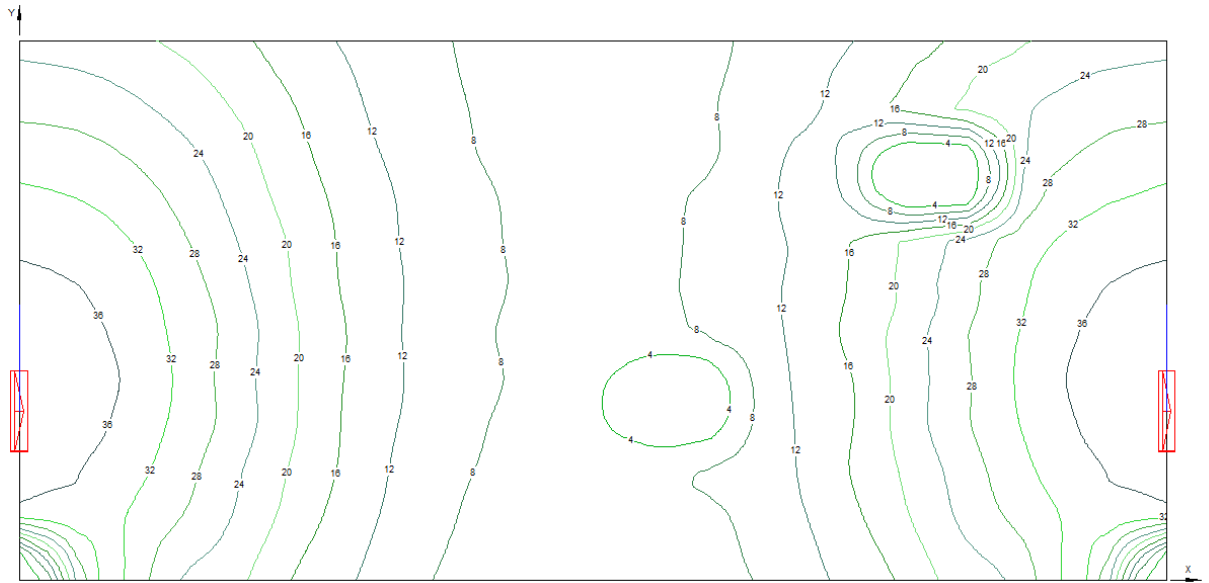


Figura 42 Distribución Isolux del tramo escogido de la calzada.

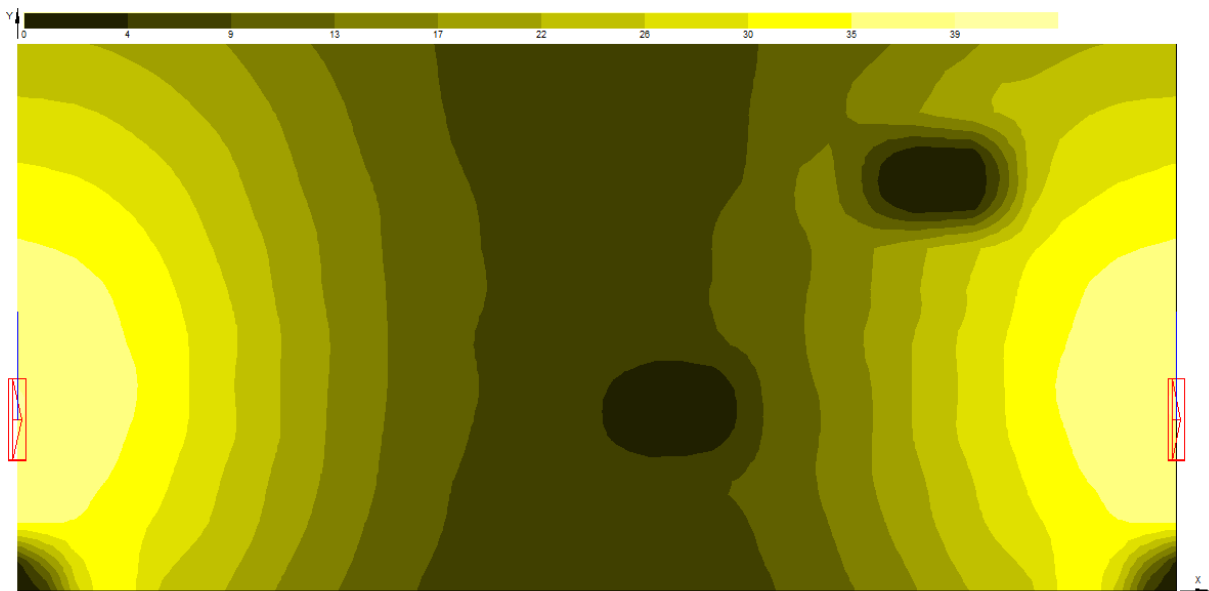


Figura 43 Proyeccion de los puntos de luz sobre la calzada.

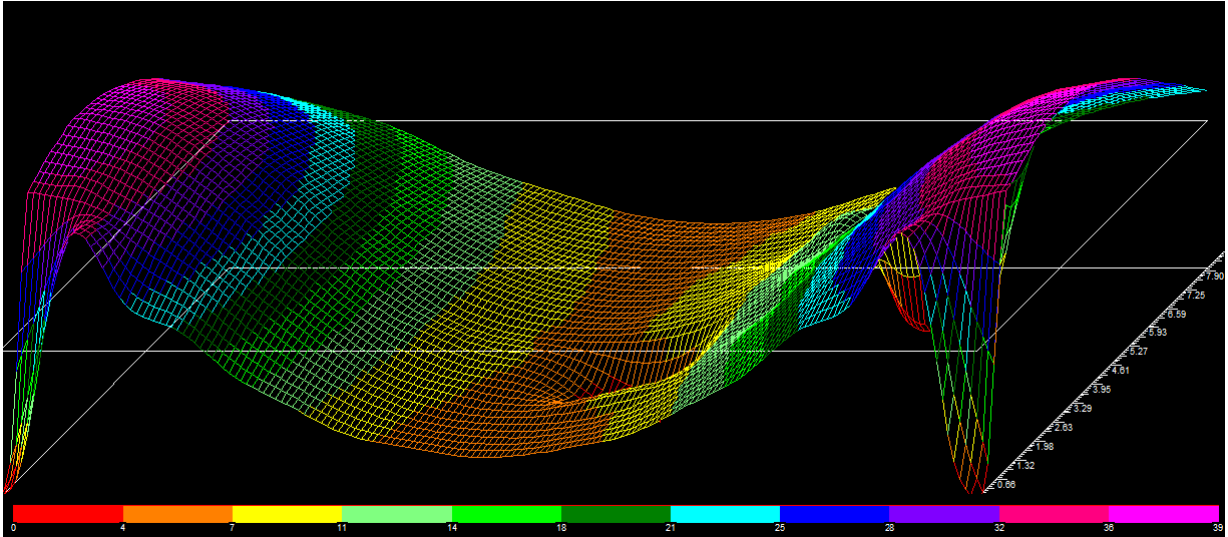


Figura 44 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Luego de realizar las simulaciones de dos de las calles o avenidas escogidas tenemos una idea real de como

pueden quedar los viales luego del cambio de tecnología con una $E_m = 15$ lux. No realizamos las 5 simulaciones ya que teniendo en cuenta que la $E_m = 15$ lux en todas las calles o avenidas y todas tendrán las mismas torres, distancia y lámpara entonces las simulaciones quedan muy similares.

3.4 Valoración Técnico-Económica.

En este epígrafe se realizará un análisis del impacto económico de la tecnología propuesta mostrando los resultados frente al análisis de las tecnologías de alumbrado existentes. En la esfera económica nos apoyamos del procedimiento del costo de beneficio, la cual es una herramienta para el análisis del tema en cuestión.

Para la valoración económica realizada. Se tuvo en cuenta el análisis con la tecnología existente y con la propuesta tecnológica LED.

Actualmente en las vías existen tramos sin iluminación; por lo que para mantener la tecnología actual sería necesario adquirir 81 lámparas de vapor de sodio con sus respectivas fotoceldas. Sin embargo aun así el nivel de iluminación se mantiene por debajo de la norma o sea menos de 15 lux.

Tabla 9 Recursos necesarios para continuar con tecnología existente.

	Cantidad (U)	Precio (cuc)	Costos
Vapor de sodio	81	5,97	483,57
Fotoceldas	81	15,08	1221,48
Costo total			1705,05

En la siguiente tabla se muestra la energía consumida en un año tomando once horas de trabajo diarias de las lámparas VSAP y LED.

Tabla 10 Energía consumida Lámpara VSAP y LED.

Lámpara	Potencia	Cantidad	Energía
VSAP	150 W	276	135 999.00 kW
LED	120 W	194	76 474.80 kW

Tabla 11 Recursos y costos para la mejora del sistema de alumbrado viario.

Recursos	U	Precio (cuc)	Cantidad (d)	Costo
Aislador Polea	U	0.21	194	40.74
Tornillo máquina ½*12	U	0.78	194	151.32
Pasador para perchas	mts	2.40	194	465.6
Cable TW 10	U	0.38	388	147.44
Tape de goma	U	7.16	5	35.8
Tape de PVC Negro	U	0.75	5	3.75
Luminaria LED	U	228	194	44232
Poste de Alumbrado de 9 mts	U	219	194	42533
Relé magnético	U	71.05	5	355.25
Cable Cobre # 4 Desnudo	kg	2649.6	2649.6	34206.34
			Total	122171.24

Tabla 12 Inversión de mano de obra.

Tareas	Cantidad	Costo (MN)
Inspección diaria	13	8.125
Planificación y llenado del permiso de seguridad	13	
Permiso de trabajo	13	
Transporte por carretera	52	3.12
Instalación de lámparas	194	296.82
Alambrar torres	194	389.94
Levante y tensión de línea	13800	1794
		\$ 2492.01

Costo de la inversión total del proyecto.

$$\text{Costo}_{(\text{recursos})} + \text{Costo}_{(\text{mano de obra})} = \text{Costo}_{(\text{Inversión total})} \quad (3.1)$$

$$122171.24 + 2492.01 = \$ 124663.25$$

Ahorro de energía en un año por once horas de trabajo diario. (3.2)

$$\text{Energía}_{(\text{VSAP})} - \text{Energía}_{(\text{LED})} = \text{Ahorro de Energía}$$

$$135\,999.00 - 76\,474.80 = 59\,524.20 \text{ kWh.}$$

Utilizando la tarifa B-1 vigente de 0,24 ctvs[12] y apoyándose en que el valor CUC y MN se comporta al uno por uno para las lámparas VSAP y LED con la energía consumida en un año podemos obtener que su valor en MN es:

$$\text{VSAP} = \$32\,639.76$$

$$\text{LED} = \$18\,353.5$$

Por tanto el ahorro de energía en un año es de \$ 14 285.80.

Si a esto le sumamos los \$1705.05 referentes a la compra de las 81 lámparas y fotoceldas correspondientes a variante vapor de sodio y El ahorro por mantenimiento

teniendo en cuenta que el costo del mismo es \$40 y que el tiempo de vida útil de una lámpara de VSAP es de 5000 horas y la LED de 100 000 horas (23,15 años) se ahorra \$ 23 200.00 por una lámpara [12] que al llevarlo al valor anual y analizarlo para la totalidad del sistema de alumbrado, nos da un beneficio total de \$ 292 586.97.

Para comprobar el tiempo de amortización con que contará el proyecto se tiene que:

$$\text{Tiempo de amortización} = \frac{\text{Costo (Inversión total)}}{\text{Ahorro Energía (en un año)}} \quad (3.3)$$

$$\text{Tiempo de amortización} = \frac{124\ 663.25}{292\ 586.97} = 0.43 \text{ años.}$$

3.5 Impacto social.

Los sistemas de alumbrado público representan para todas las ciudades un punto clave en la calidad de vida de los ciudadanos, pues brinda seguridad peatonal y vial. Para las empresas eléctricas cubanas, el mejoramiento y mantenimiento de alumbrado público, es un proceso estratégico, debido a que, simboliza la imagen y credibilidad en la calidad del servicio que presta cada una de ellas. Además que hace sentir a los ciudadanos más seguros porque contribuye a eliminar los procesos delictivos y ofrece una ciudad segura en todos los ámbitos.

3.6 Valoración ambiental y medidas tomadas para evitar la contaminación lumínica.

Aunque las instalaciones de alumbrado parece que tienen poca interacción con el medio ambiente, dado que se trata de instalaciones estáticas que a nivel local no producen emisiones si se profundiza en su funcionamiento y ciclo de vida, viendo rápidamente varios problemas importantes relacionados de mayor importancia son la eliminación y tratamiento de lámparas agotadas, la contaminación lumínica y la eficiencia energética. Cada una de estas problemáticas tiene un tratamiento diferenciado.

Efectos ecológicos: La producción de energía eléctrica no es un proceso limpio, (ecológicamente) por lo que trae consigo:

- Residuos radioactivos
- Consumo de carbón o petróleo
- Emisión de gases a la atmósfera (lluvia acida)
- Emisión de CO₂ (efecto invernadero).

Generación de residuos:

Las instalaciones de alumbrado, dentro de su ciclo de vida, en cada una de sus fases, generan residuos que afectan en mayor o menor medida al medio ambiente. Pero sin duda alguna, el principal problema ambiental del alumbrado se presenta en la fase de explotación y derribo, y viene dado por el abandono incontrolado de los subproductos que dejan de ser útiles. Así los subproductos que más se desechan en el alumbrado público son las lámparas de descargas, las cuales se han de considerar como residuos especiales que requieren una gestión específica, desde la recogida, el transporte, el tratamiento, hasta la deposición. Aunque el uso de estas lámparas representa un paso importante para el ahorro energético, la tecnología empleada en las lámparas de descarga obliga a utilizar elementos químicos de gran toxicidad en pequeñas cantidades, mercurio, plomo, estroncio, europio o itrio. Sus efectos medioambientales no son significativos a nivel individual, pero sí que lo son por el volumen global a considerar por las acciones acumulativas sobre el medio.

Las lámparas de descarga presentan, globalmente, cuatro características básicas:

- Un contenido importante de sustancias toxicas en pequeñas cantidades por lámpara.
- Un consumo cada vez mayor de lámparas, sobre todo en el ámbito industrial.
- Las características propias de las lámparas que las hacen frágiles a maniobras de transporte y almacenaje.
- La gran dispersión en el consumo.

La solución al problema pasa por establecer una relación controlada y respetuosa con el medio ambiente sin olvidar la importancia de diseñar nuevos productos

reduciendo la cantidad de elementos tóxicos, alargando su vida útil y facilitando su reutilización y reciclado.

Efectos medioambientales.

- El exceso de iluminación tiene efectos negativos sobre la flora y fauna.
- Cambios en el comportamiento territorial y de nidificación de pájaros.
- Desorienta a las aves migratorias.
- Dificulta y disminuye la reproducción de insectos, debido a que la actividad sexual de estos animales se efectúa muy especialmente de noche.

Medidas contra la Contaminación Lumínica.

- Utilizar el tipo de alumbrado más adecuado según su uso.
- Asegurar que el alumbrado no permanezca encendido durante las horas de luz natural.
- No utilizar luminarias tipo globo sin reflector en la parte superior ya que proyectan una gran emisión de luz por encima de la horizontal y es necesario evitarlo.

La contaminación lumínica hay que eliminarla porque:

- Disminuye el consumo energético e indirectamente el consumo de combustible
- Protege al medio ambiente nocturno ya que devuelve la naturaleza los estadios de hábitat original, al tiempo que se protegen las aves y mamíferos nocturnos.
- Se reduce el deslumbramiento de los conductores, con lo que se aumenta la seguridad vial
- Se colabora con la visibilidad nocturna del tráfico aéreo y marítimo
- Permite la observación astronómica, tanto a profesionales como a aficionados

Se cumple con el prefacio de la Declaración Universal de las Generaciones Futuras UNESCO que recoge el derecho a una tierra indemne y no contaminada, incluyendo el derecho a un cielo puro.

La generación de energía eléctrica en el mundo entero sigue dependiendo en gran parte de combustibles fósiles como petróleo, gas, carbón y otros, de los cuales la mayoría son sumamente contaminantes. Una de las amenazas más graves para el medio ambiente procede de esta contaminación, las emisiones en rápido aumento de los denominados gases “de invernadero”, en especial el dióxido de carbono (CO_2) considerado por muchos científicos como el principal responsable del calentamiento de la tierra. En las termoeléctricas por cada kW que se genera se expulsa a la atmósfera 0,8 kg de este gas tan perjudicial para el medio ambiente. Aunque los gobiernos se han comprometido con la tendencia mundial hacia una reducción de las cantidades de CO_2 producidas por cada unidad de energía consumida, relativamente pocos países han logrado reducir la expulsión de gases a la atmósfera mediante el paso a los combustibles no fósiles.

3.7 Conclusiones del capítulo.

En este último capítulo se propuso de manera práctica la solución a las principales dificultades encontradas en el sistema de iluminación viaria del municipio Antilla, priorizando la insuficiente iluminación de las vías objeto del presente trabajo. Se muestran las transformaciones a realizar para elevar los niveles medios de iluminación, así como los equipos a implementar a la hora de darle cumplimiento al trabajo realizado, sin pasar por alto el costo económico y el ahorro de energía que proporcionaría al municipio y al país. Además se eleva la eficiencia energética por lámpara de un 29,4 a un 38 %.

Conclusiones Generales

1. En este trabajo de diploma se realizó un estudio y evaluación de las características y condiciones del sistema de alumbrado de las principales avenidas del municipio Antilla de la provincia de Holguín.
2. Sobre la base de la comparación entre la tecnología actual y la Led, se realizó la propuesta, con la que se debe mejorar la eficiencia del sistema de iluminación viaria del municipio Antilla en un 26,67%, hasta el punto de proporcionar confort visual y seguridad a los conductores y peatones.
3. Se obtuvo una simulación en el software profesional TROLL LITESTAR 5.S3 de las vías y la representación de los niveles de iluminación en las distintas calzadas.
4. El tiempo de amortización de la inversión es menor a 5 meses, con una disminución del consumo eléctrico de un 56.23% ahorrando 292 586.97 MN al año. haciéndose factible la propuesta.

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 10 grados con respecto a la horizontal, evitando de esta forma que estas provoquen deslumbramiento y se desperdicie luz hacia el espacio.
3. Realizar poda de todos los elementos naturales que puedan afectar el tendido eléctrico.
4. Efectuar una limpieza periódica a las lámparas para garantizar su óptimo funcionamiento.

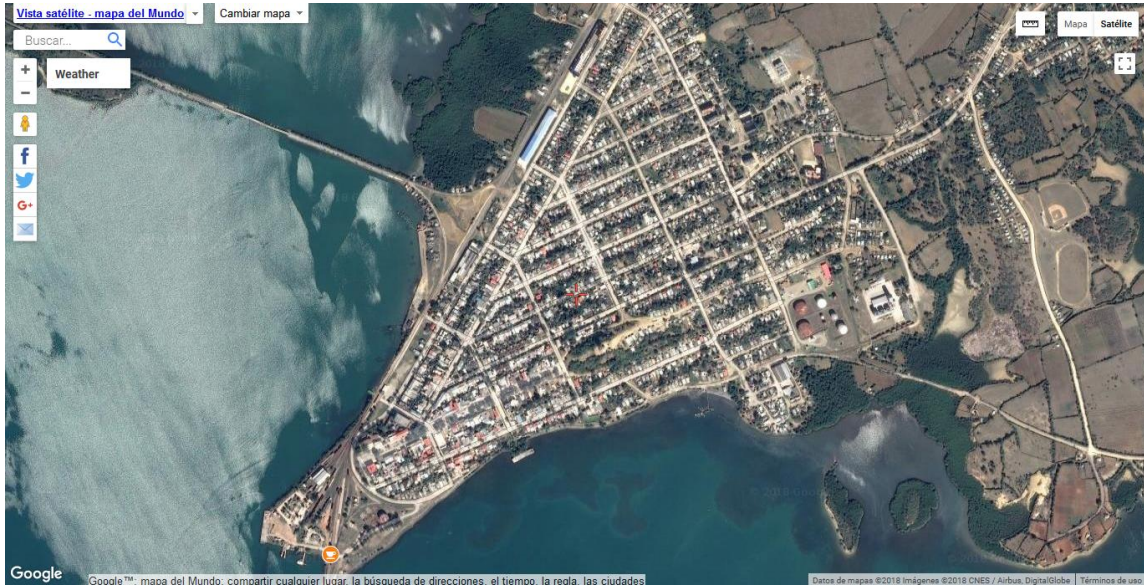
BIBLIOGRAFÍA.

- [1] A. M. C. M. Islem "Eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Moa," Departamento de eléctrica, 2015.
- [2] H. B. Arcaya, "Evaluación del sistema de alumbrado en la avenida Carlos Manuel de Céspedes en el municipio de Antilla.," 2017.
- [3] F. Cavaller, y otros. , "Cómo seleccionar y comparar luminarias LED para aplicaciones de alumbrado exterior. Madrid : s.n., 2010," 2010.
- [4] NC IEC 61000-6 "Compatibilidad electromagnética," in *Parte 6*, ed. La Habana, Cuba 2003.
- [5] C. L. Guerrero, " Viabilidad del uso de luminarias LED en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara," Departamento de electrica, 2013.
- [6] D. Acosta, "DISEÑO DE UN SISTEMA DEILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED," Departamento de eléctrica, 2010.
- [7] R. G. Llanes, "Análisis y propuesta de cambio de lámparas convencionales por lámparas Led en la Empresa Pedro Sotto Alba," 2013.
- [8] J. Mazorra, *Suministro Eléctrico de Empresas Industriales*, 2017.
- [9] A. M. C. M. Islem, "Eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Moa," 2015.
- [10] D. Acosta, "DISEÑO DE UN SISTEMA DEILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED," 2010.
- [11] J. G. F. y. O. Boix. *Iluminación Exterior*. Available: <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/exterior/calculos.html>
- [12] Y. S. Cala, "Gestión de mantenimiento de alumbrado público utilizando sistemas de información geográficos," 2018.
- [13] S. d. g. i. d. a. público, "Sistema de gestión inteligente de alumbrado público," 2014.
- [14] C. E. G. T, "MANUAL DE PROCEDIMIENTOS CORRECTIVOS Y PREVENTIVOS DE LUMINARIAS TIPO EXTERIOR PARA BOMBILLAS HID DE SODIO Y HALOGENUROS METÁLICOS UTILIZADAS EN ALUMBRADO PÚBLICO," *UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA FACULTAD DE TECNOLOGIA PROGRAMA DE TECNOLOGIA ELECTRICA*, 2011.
- [15] OXYTECH, "<http://www.oxytech.it/?LN=ES>," 25 de junio de 2016.

ANEXOS

Anexo 1

Mapa físico del municipio de Antilla.



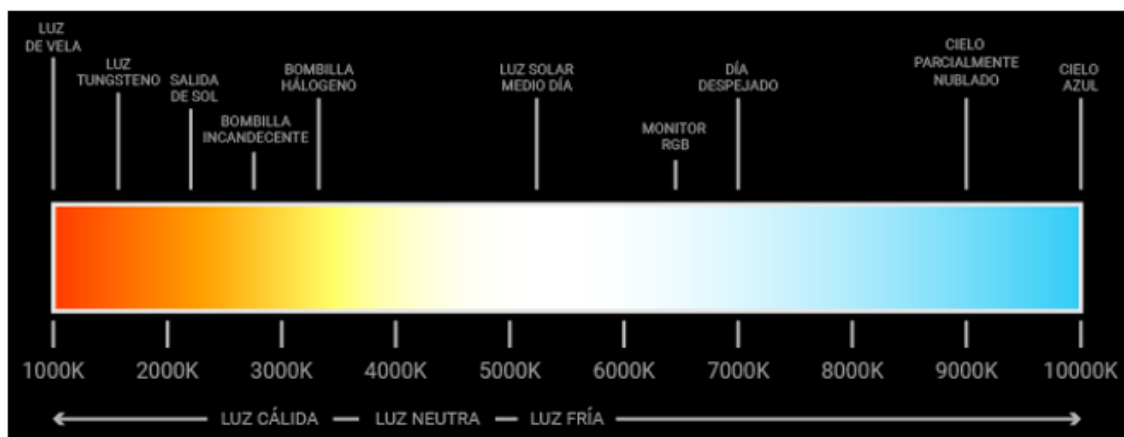
Anexo 2

Comparación **VSAP** v/s **LED** un antes izquierda después derecha.



Anexo 3

Temperaturas de color en grados Kelvin (K)



4000K



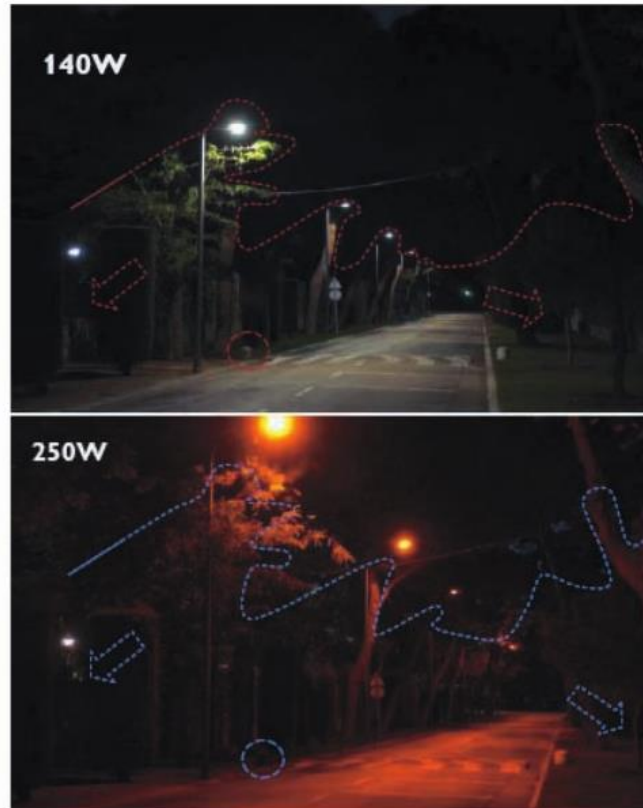
3000K



2000K

Visibilidad

- Mejor visión periférica
 - Ciclistas
 - Peatones y cruces
 - Obstáculos



Anexo 4

Avenida Antonio Maceo

Interdistancia promedio: 50 m

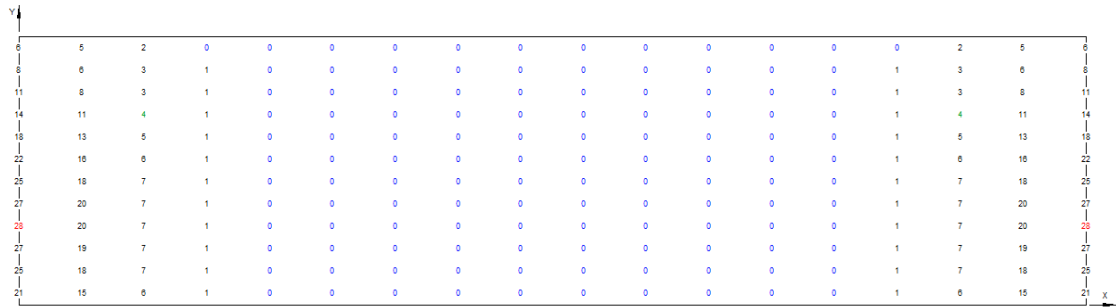
Altura del punto de luz: 7 m

Tipo de lámpara: VSAP 150 W

Distribución: Unilateral derecha

Resultados Iluminaciones [lux]						
	EMed	EMin	EMax	UMed (Min/Med)	UMin (Min/Max)	UMax (Med/Max)
work_plane	4	0	28	0.00	0.00	0.15
Acera A	5	0	22	0.00	0.00	0.24
Calzada A	4.89	0	28	0.00	0.00	0.19
Acera B	1.7	0.0	6.8	0.00	0.00	0.25

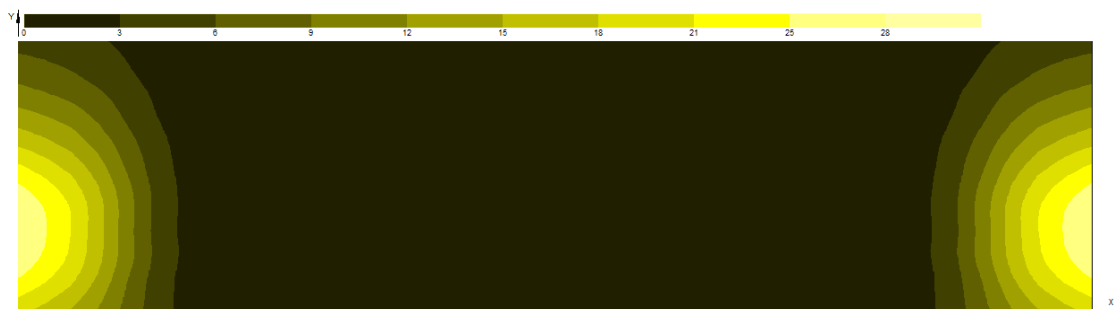
Resultados obtenidos por el software en la avenida



Distribución de los lux que llegan a la calzada.



Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.



Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

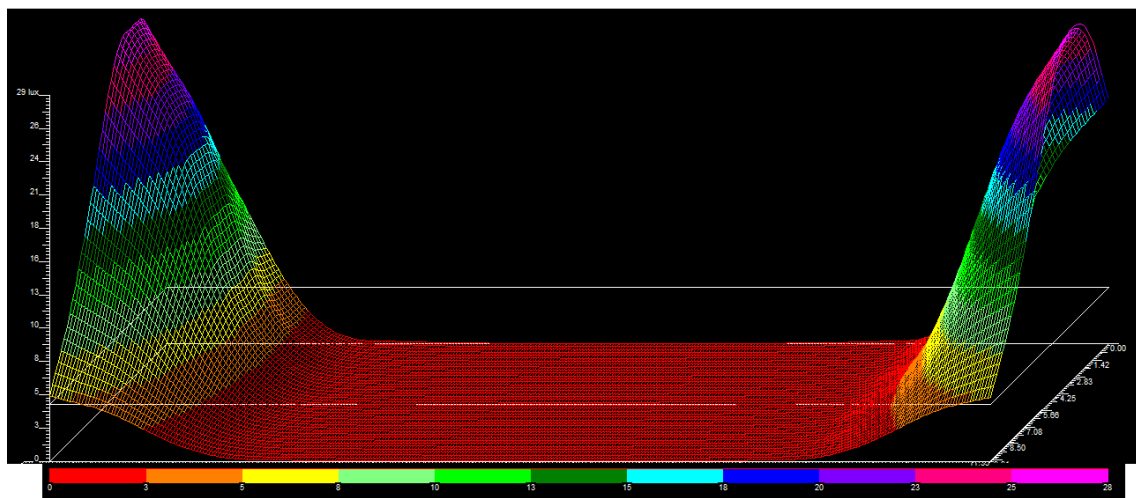


Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Avenida 28 De Enero

Interdistancia promedio: 50 m

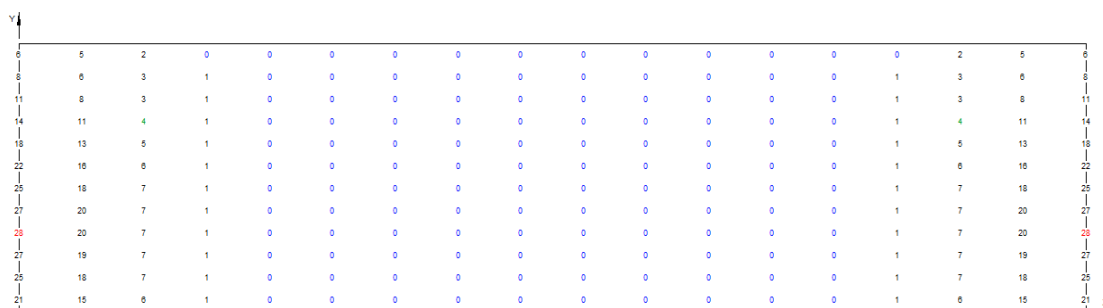
Altura del punto de luz: 7 m

Tipo de lámpara: VSAP 150 W

Distribución: Unilateral Izquierda.

Resultados Iluminaciones [lux]						
	EMed	EMin	EMax	UMed (Min/Med)	UMin (Min/Max)	UMax (Med/Max)
work_plane	6.17	0	17	0.01	0.00	0.29
Acera A	6	0	15	0.01	0.01	0.38
Calzada A	5.25	0	17	0.01	0.00	0.34
Acera B	3.3	0.1	8.6	0.03	0.01	0.39

Resultados obtenidos por el software en la avenida 28 De Enero.



Distribución de los lux que llegan a la calzada.

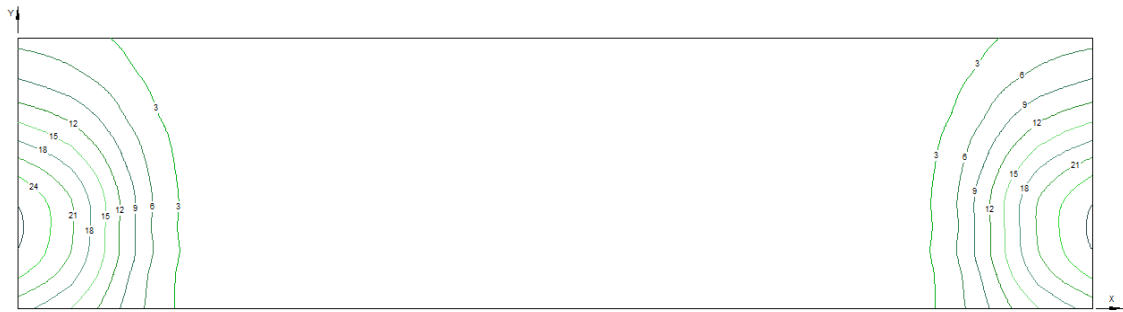


Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.



Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

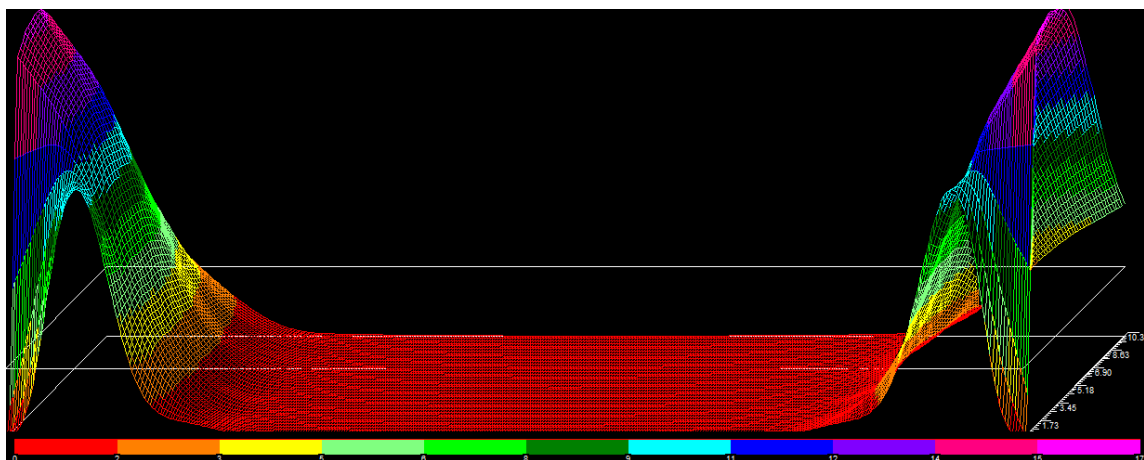


Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Calle Juan George Soto

Interdistancia promedio: 50 m

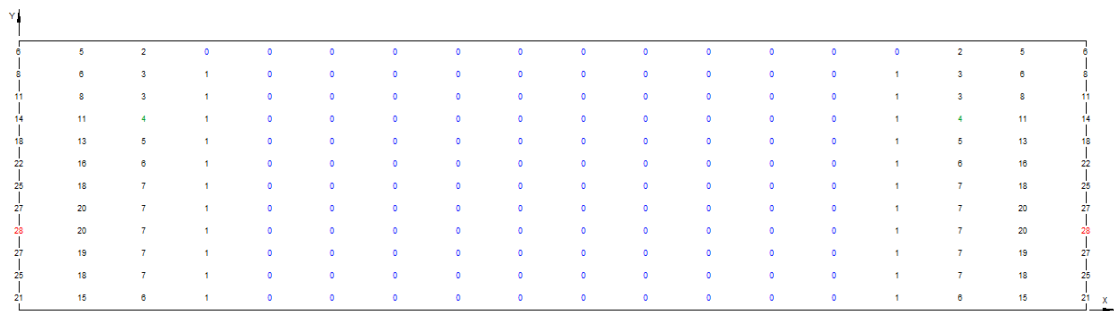
Altura del punto de luz: 7 m

Tipo de lámpara: VSAP 150 W

Distribución: Unilateral Izquierda

Resultados Iluminaciones [lux]						
	EMed	EMin	EMax	UMed (Min/Med)	UMin (Min/Max)	UMax (Med/Max)
work_plane	4.3	0	17	0.01	0.00	0.29
Acera A	6	0	15	0.01	0.01	0.38
Calzada A	4.55	0	17	0.01	0.00	0.34
Acera B	3.3	0.1	8.6	0.03	0.01	0.39

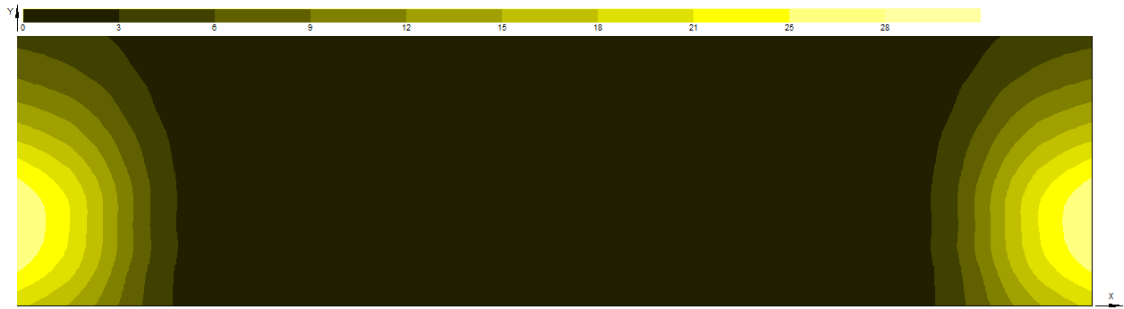
Resultados obtenidos por el software en la calle Juan George Soto



Distribución de los lux que llegan a la calzada.



Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.



Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

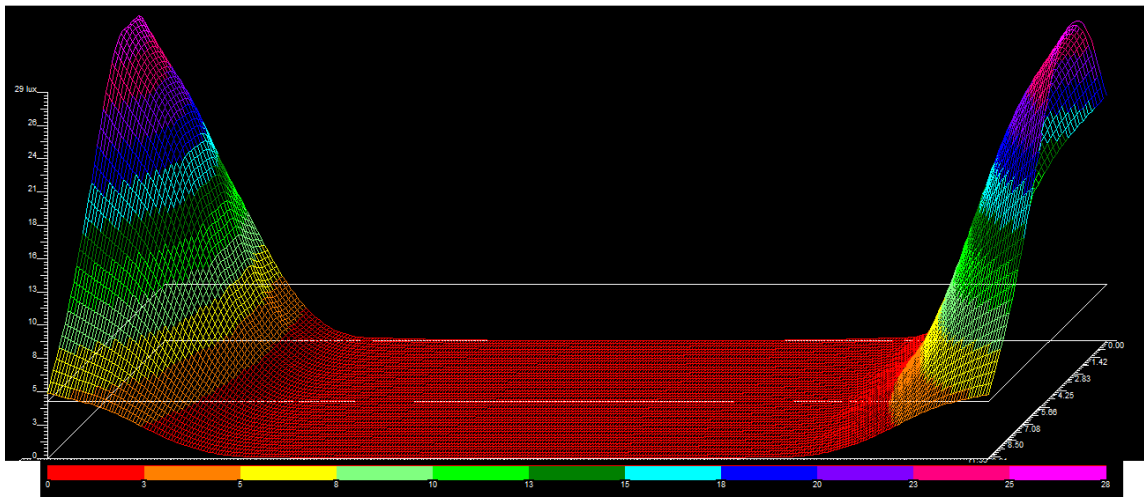


Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).