



Facultad Metalurgia- Electromecánica

Departamento de Eléctrica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico

***Título: Evaluación del sistema de alumbrado
en la avenida Carlos Manuel de Céspedes en el
municipio de Antilla.***

Autor: Henry Batista Arcaya.

Tutor: Ing. Alberto García Labrada.

Consultante: M.Sc. Gabriel Hernández Ramírez

2016-2017

“Año 59 de la Revolución”

Declaración de autoridad.

Yo Henry Batista Arcaya.

Autor de este Trabajo de Diploma tutorado por el Ing. Alberto García Labrada, certifico la propiedad intelectual a favor del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez”, el cual podrá hacer uso del mismo para fines docentes y educativos.

Henry Batista Arcaya

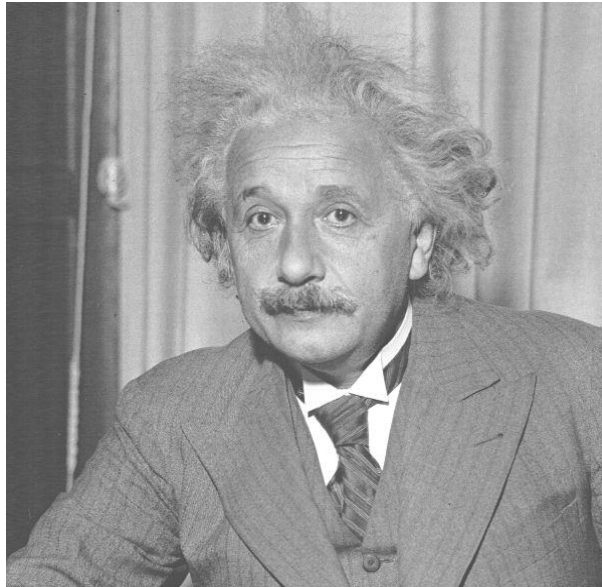
(Diplomante)

Ing. Alberto García Labrada

(Tutor)

PENSAMIENTO

“Si tu intención es describir la verdad, hazlo con sencillez y la elegancia déjasela al sastre.”



“Solo conozco dos cosas infinitas, el universo y la estupidez humana, y no estoy seguro del universo.”

Albert Einstein. (1879-1955).

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

- *A toda mi familia y en especial a mis padres.*
- *A mi novia y a toda su familia.*
- *A todos mis amigos.*
- *Al claustro de profesores.*

AGRADECIMINETOS

Agradecimientos.

Agradezco primeramente a mis padres Miyeline Arcaya Sierra y Raúl Batista Ramírez por el apoyo y la confianza que siempre me tuvieron , a mi hermanita Thalía a la cual quiero servirle de ejemplo a mi abuela María y todos mis tíos a mi novia que desde que la conocí a estado conmigo en las buenas y en las malas y a toda su familia, al claustro de profesores que me brindaron los conocimientos necesarios para cursar estos cinco años y para tiempos venideros y a todos mis amigos con los cuales quiero mantener esta relación a todas esta personas les dedico este trabajo.

Resumen

En el trabajo se hace una evaluación al sistema de alumbrado de la avenida principal Carlos M de Céspedes del municipio de Antilla, con el objetivo de proponer un cambio de luminaria, de la tecnología existente VSAP por la tecnología LED. Primeramente se realiza un diagnostico en la avenida 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 es factible.

Abstract

The research carries out an evaluation of the lighting system of the Carlos M de Céspedes Avenue of the municipality of Antilla, with the aim of proposing a change of luminaire, of the existing technology VSAP by LED technology. First a diagnosis is made in the avenue where there are several deficiencies in terms of lighting levels and energy efficiency. It verifies the type of existing lamp and its consumption, besides a study of the level of illumination in two chosen sections. The different technologies existing in the market and in previous works were characterized to identify the most efficient at the moment. Simulations were carried out with professional software to verify the difference in illumination between the existing technology and the proposal to be implemented. Also an economic technical analysis is made to justify that the replacement of VSAP lamps by LED technology is feasible.

INDICE

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL	5
1.1 Introducción	5
1.2 Estado del Arte	5
1.3 Base Teórica de la investigación Definiciones.	6
1.4 Magnitudes y unidades de medida	10
1.5 Deslumbramiento	12
1.6 Alumbrado público.....	12
1.7 Métodos de cálculo En general, todo proyecto de iluminación se calcula por medio de tres métodos conocidos como:	12
1.7.1 Método del Lumen o del Cálculo del Flujo Luminoso	13
1.7.2 Método de los nueve puntos	18
1.8 Conclusiones Parciales.	22
CAPÍTULO 2. Descripción del sistemas de alumbrado.....	23
2.1 INTRODUCCIÓN.....	23
2.2 Caracterización del Sistema de Alumbrado que se utiliza en la actualidad.	23
2.3 Características técnicas de las lámparas.	24
2.3.1 Lámparas de vapor de sodio a baja presión.	24
2.3.1 Lámparas de vapor de sodio a alta presión.	25
2.3.2 Lámparas de arreglo de LED.	26
2.4 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema instalado.....	28
2.5 Representación de los niveles de iluminación.	30
2.6 Conclusiones Parciales.	34
CAPÍTULO III: Propuesta para reducir el consumo de energía.	35
3.1 INTRODUCCIÓN.....	35
3.2 Propuesta para mejorar el sistema de iluminación viaria del municipio Antilla.....	35
3.3 Características a tener en cuenta.	36
3.4 Propuesta del nuevo sistema de iluminación LED.	41
3.5 Representación de los niveles de iluminación del sistema de alumbrado viario mejorado.	42
3.6 Valoración Económica.....	45

3.7 Tecnología LED, medio ambiente y sociedad.	49
3.8 Conclusiones.....	51
Conclusiones Generales	52
Recomendaciones.....	53
BIBLIGRAFIA.	54
Anexos:	55

INTRODUCCIÓN GENERAL.

El alumbrado público constituye unas de las principales problemáticas a nivel mundial, con el fin de evaluar y seleccionar la alternativa óptima, que involucre mayor nivel luminoso con un mínimo costo de inversión. La experiencia en muchos países es que existe un gran crecimiento de la demanda energética, que impone enormes precios de costos a las compañías de servicios de energía para realizar inversiones adicionales en instalaciones de alumbrado [1]. Así como también considerables presiones ambientales. Adicionalmente, ante el rápido crecimiento de la demanda de energía, diversas organizaciones trabajan en proyectos correspondientes al cambio o sustitución de luminarias implementando como principal vía la iluminación LED que se ha convertido en la tecnología de referencia en el mundo del alumbrado gracias al ahorro eléctrico y económico que consigue en las instalaciones donde está reemplazando a las lámparas tradicionales. Este ahorro está garantizado por su larga duración, su bajo consumo y la calidad de la luz que emiten [2]. Los nuevos avances en iluminación con LED y la reducción de costos que generan, están situando a esta tecnología en el primer puesto en las nuevas instalaciones, acelerando el reemplazo tecnológico de las viejas lámparas tradicionales, que son mucho menos eficientes que los LED y que comienzan a desaparecer cada vez a mayor velocidad.

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. Éste es un factor que ocasiona, al momento de escoger el equipo y materiales, 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 regular calidad 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.

Situación problemática:

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

Problema de la investigación:

Deficiencia en el sistema de alumbrado en la avenida Carlos Manuel de Céspedes del municipio de Antilla.

Hipótesis del trabajo:

Si se analiza el sistema de alumbrado existente en la avenida Carlos Manuel de Céspedes es posible proponer la implementación de las luminarias LED y contribuir con el ahorro de energía eléctrica brindando un mejor servicio de iluminación.

Objeto de estudio:

Avenida Carlos Manuel de Céspedes en el municipio de Antilla.

Campo de acción:

Alumbrado en la avenida Carlos Manuel de Céspedes del municipio de Antilla.

Objetivo general:

- Caracterizar el sistema de alumbrado de la avenida Carlos Manuel de Céspedes y proponer un sistema de alumbrado que permita incrementar la eficiencia energética.

Objetivo específico:

- Evaluar el tipo de luminaria existente en la avenida Carlos Manuel de Céspedes.
- Establecer la comparación entre el tipo de luminaria existente y la propuesta a implementar.
- Proponer el alumbrado LED 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.

Resultados esperados:

- Actualizar el sistema de iluminación de la avenida Carlos Manuel de Céspedes
- Demostrar la superioridad en rendimiento luminoso y gasto de energía de las lámparas LED a las lámparas de vapor de sodio de alta presión.

CAPITULO 1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

1.1 Introducción

En el presente capítulo se presentan los conceptos teóricos que se intenta exponer 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 engrandecer los índices de eficiencia de los mismos [2].

1.2 Estado del Arte

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 [3].

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. 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 [4].

En este trabajo se realiza un estudio para determinar la efectividad técnica económica de la sustitución del sistema de iluminación actual de la empresa de proyectos CEPRONIQUEL por tecnología LED. Para ello se evalúa la situación actual del sistema de iluminación interna en la instalación, se caracteriza el alumbrado actual y la tecnología que se propone y se evidencian las deficiencias en cuanto a la realización del mantenimiento de las luminarias y la calidad de los niveles de iluminación en algunos locales mediante las mediciones y la simulación [5].

En el desarrollo de este documento se expone el estudio del sistema de alumbrado de la sección administrativa y vía principal de la Empresa Ernesto Che Guevara (ECG) 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.[3]

En este trabajo 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].

La base principal de este trabajo 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 los niveles con la Normas vigentes [6].

1.3 Base Teórica de la investigación Definiciones.

La luz da vida a la obra y es, en cierta medida, el pincel al alcance del arquitecto. Estas ideas, que parecerían mera retórica, son una realidad que influye en el confort que se puede construir a partir de un adecuado manejo de la

iluminación, y en el que uno de los retos principales ha sido igualar la calidad de la luz artificial con la natural.

1. La luz.

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.

La luz visible es un pequeño conjunto de radiaciones electromagnéticas de longitudes de onda comprendidas entre los 380 nm y los 770 nm ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$)[7].

El espectro visible Se llama espectro visible a 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 1.1 se muestra el comportamiento de la luz en cuanto a frecuencia y longitud de onda.

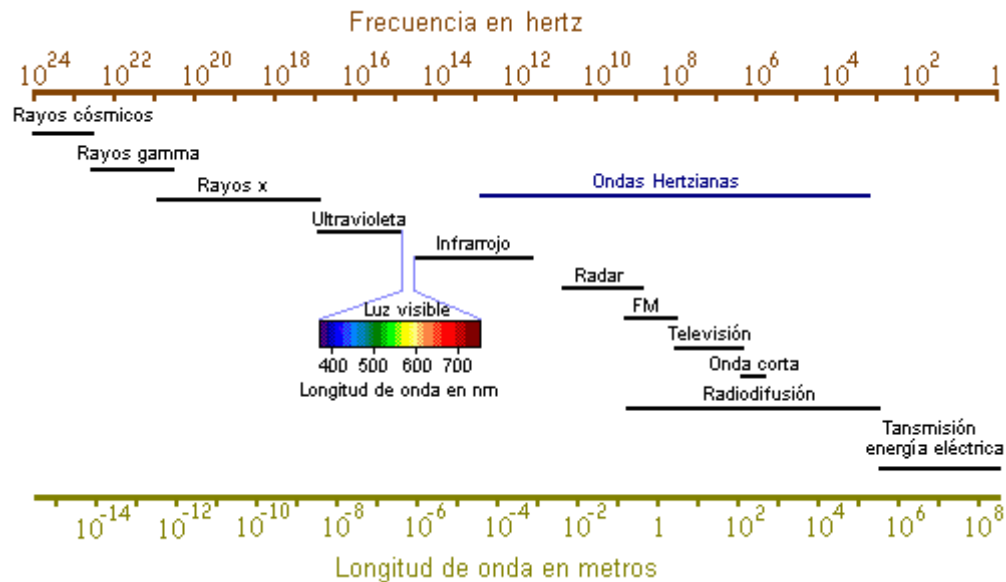


Figura 1.1 Representación de la luz en frecuencia y longitud de onda.

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 1.2.

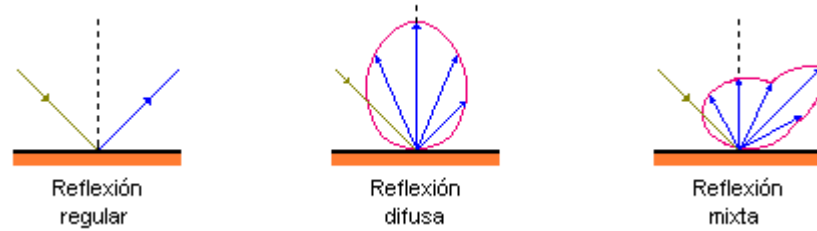


Figura 1.2. Representación de los tipos de reflexión.

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 1.3

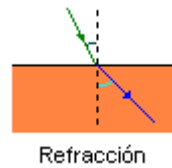


Figura 1.3 Representación de la refracción.

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 1.4

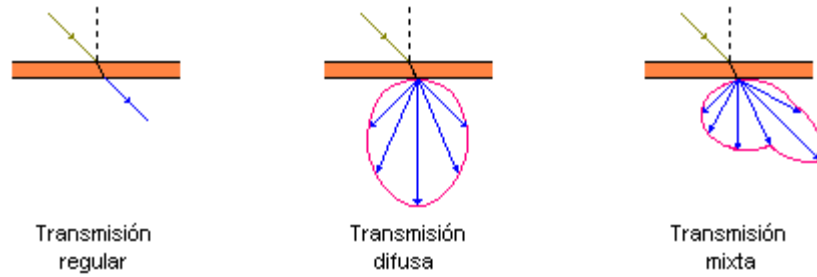


Figura 1.4 Representación de los tipos de transmisiones.

Una de las grandes ventajas que proporciona la luz es la del alumbrado público en el cual está enmarcado este trabajo [7].

1.4 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.

1. Flujo luminoso.

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 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 [5].

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).

3. 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/m^2 .

4. Luminancia

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/m^2 .

5. Rendimiento Luminoso o eficiencia luminosa

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) [5].

1.5 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.

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 central o regional su implementación.

1.7 Métodos de cálculo

En general, todo proyecto de iluminación se calcula por medio de tres métodos conocidos como:

- 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.

Los métodos específicos que emplearemos en este trabajo se reflejan a continuación:

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 1.5.

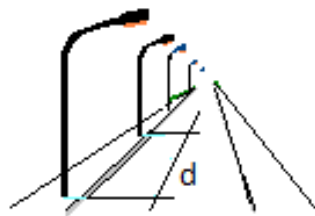


Figura 1.5 Distancia en la vía.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques. Ver Diagrama 1.1

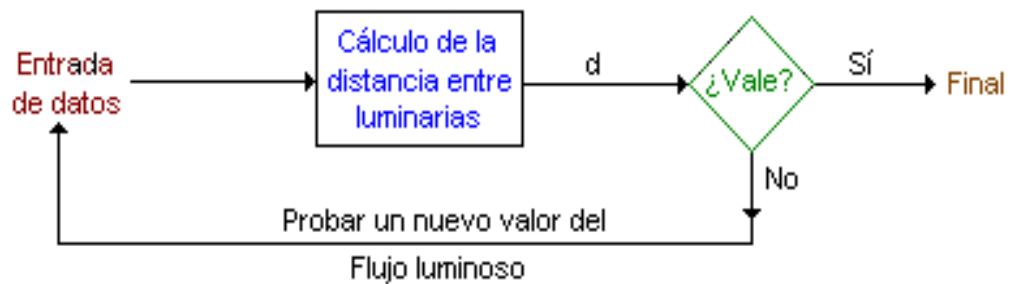


Diagrama 1.1 Diagrama de bloques.

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

Tabla1.1

Tabla1.1 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 Tabla1.2

Tabla1.2 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 Tabla1.3

Tabla1.3 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 Tabla1.4

Tabla1.4 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 Figura1.6.

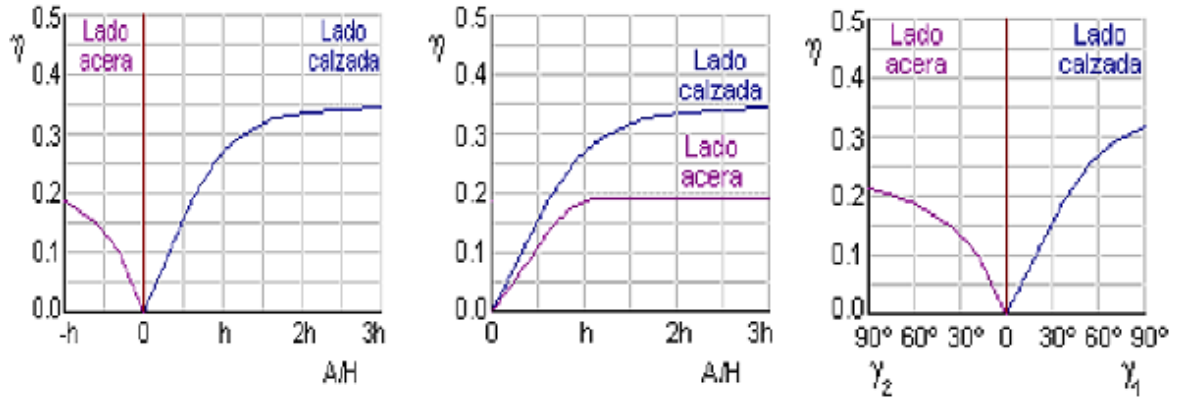


Figura1.6 Curvas del factor de utilización.

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 Figura1.7.

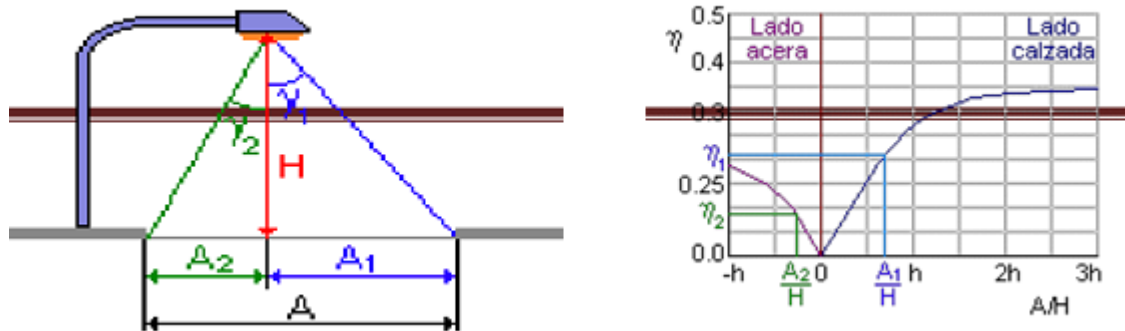


Figura1.7 Factor de utilización.

$$A = A_1 + A_2 \quad (0.1)$$

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

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 Figura1.7 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)).

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

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
$2 \leq E_m < 7$	$5 \leq d/h < 4$
$7 \leq E_m < 15$	$4 \leq d/h < 3.5$
$15 \leq E_m \leq 30$	$3.5 \leq d/h < 2$

1.7.2 Método de los nueve puntos

Suponiendo que es un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas a una distancia d . Ver Figura 1.8

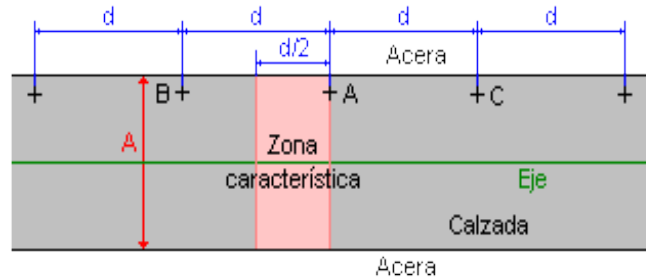
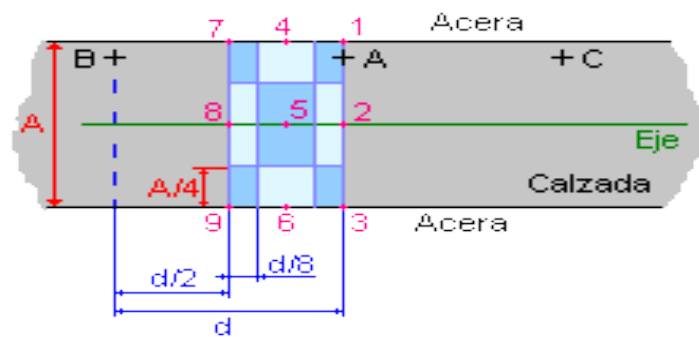


Figura 1.8 Distribución unilateral de la calzada.

Debido a las simetrías existentes en la Figura 1.8, 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 como se puede apreciar en la Figura 1.9.



Distribución de puntos en una disposición unilateral

Figura 1.9 Distribución de los puntos en una disposición unilateral.

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

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

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

Con:

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

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

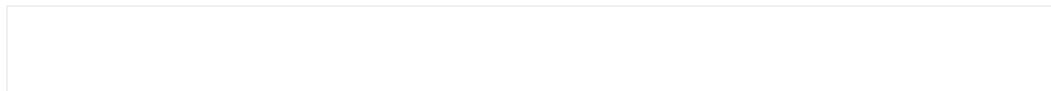
$$S_5 = \frac{A}{2} * \frac{d}{4} = \frac{A * d}{8} = 4S_1 \quad (1.9)$$

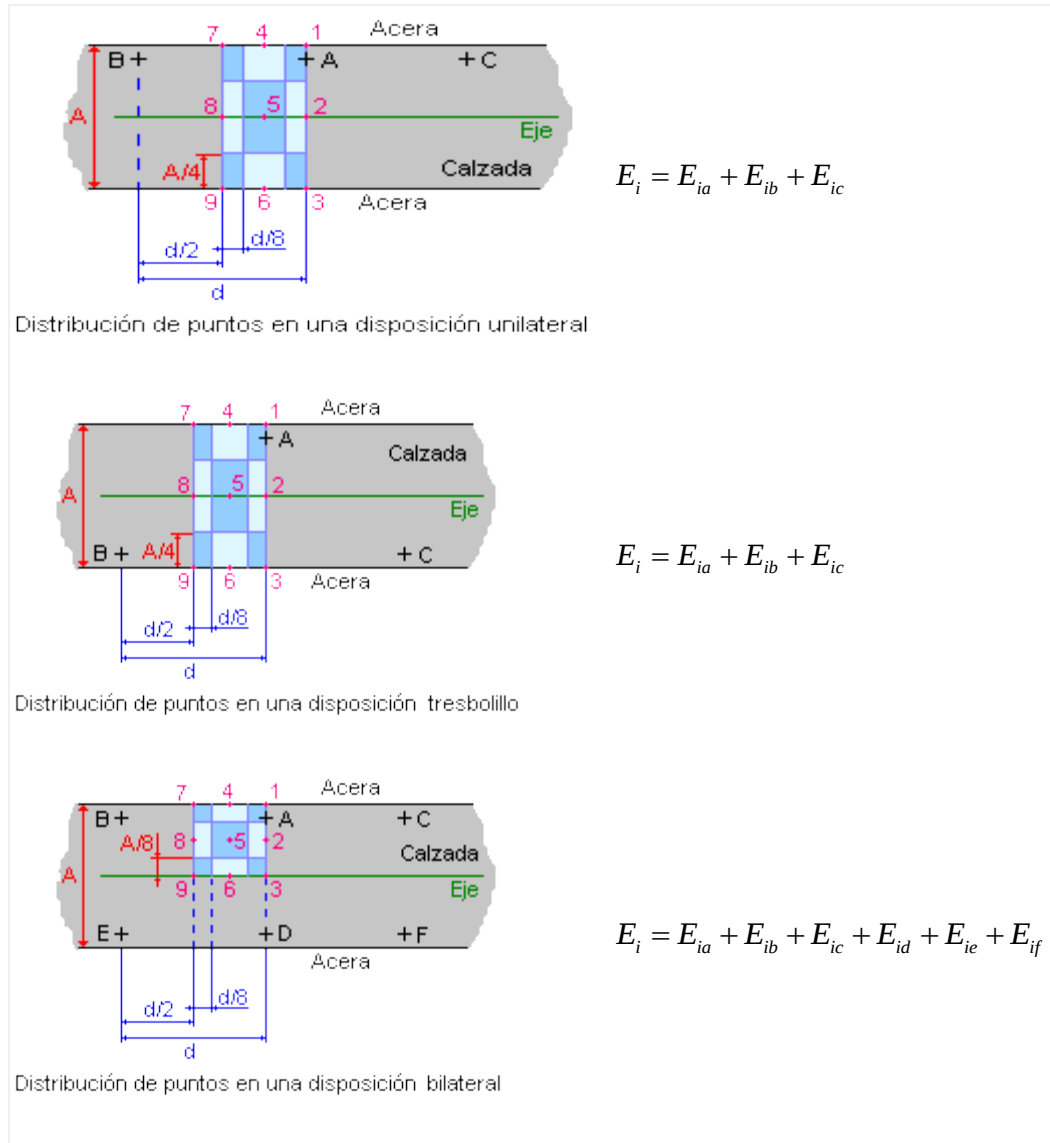
Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de E_m es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

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

La iluminancia en cada punto vale entonces:

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





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

Uniformidad media. $U_m = \frac{E_{\min}}{E_m}$ (1.11)

Uniformidad extrema. $U_{\text{ext}} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}}$ (1.12)

Para calcular las iluminancias se puede proceder de dos maneras:

En primer lugar se puede calcular usando la fórmula:

$$E_i = \frac{I(C, \gamma)}{H^2} * \cos^3 \lambda_i \quad (1.13)$$

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 se necesita:

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 se sitúan los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada. Ver Figura 1.10

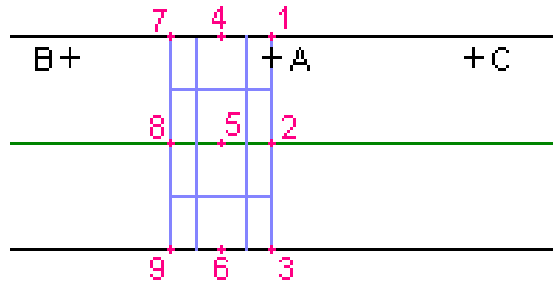


Figura 1.10 Representación de los 9 puntos.

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 se calcula la iluminancia media y los factores de uniformidad media y extrema. Para eso se presenta el siguiente ejemplo. 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:

$$E_r = E_c * \frac{\phi_r}{\phi_c} * \left(\frac{h_c}{h_r} \right)^2 = E_c * \frac{\phi_r}{h_r^2} * \frac{1}{1000} = E_c * \frac{20000}{8^2} * \frac{1}{1000} = 0,3125 * E_c \quad (1.14)$$

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

$$E_m = \frac{24.1 + 2 * 42.2 + 19.7 + 2 * 17.8 + 4 * 30 + 2 * 16.6 + 10.3 + 2 * 28.1 + 12.5}{16} = 24.75lx \quad (1.15)$$

$$U_m = \frac{E_{\min}}{E_m} = \frac{10.3}{24.75} = 0.42 \quad U_{\text{ext}} = \frac{E_{\min}}{E_{\max}} = \frac{10.3}{42.2} = 0.24 \quad (1.16)$$

El software a utilizar en el presente trabajo es el llamado. **LITESTAR 5.S3** es el sistema usado para la elaboración de proyectos luminotécnicos para el estudio de ambientes internos y externos (áreas genéricas, áreas deportivas, viales y túneles) y para la gestión de la documentación fotométrica y comercial, que hace el trabajo de los profesionales del sector más sencillo y eficaz.

1.8 Conclusiones Parciales.

Durante el transcurso del presente capítulo se ha expuesto de manera detallada 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 estudiar, además de los tipos y métodos de alumbrado principales logrando de esta manera un enfoque demostrativo generalizado acerca del objetivo a desarrollar.

CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE ALUMBRADO.

2.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo tiene como objetivo básico caracterizar el alumbrado actual que presenta la principal avenida del municipio de Antilla, así como determinar 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 en el alumbrado público y a través de los cálculos se dejarán identificadas las deficiencias y se propondrán nuevas medidas en busca de mejoras. Para realizar un buen estudio es necesario conocer los tipos de tecnología: lámparas de vapor de sodio (tecnología actualmente empleada) y LED (como propuesta a la solución del problema en el alumbrado vial) especialmente sus características, funcionamiento y el impacto en la sociedad y en la economía del país; esto nos ayudará a seleccionar el tipo de fuente que permitirá la mejora en la eficiencia del alumbrado vial.[2]

En el municipio de Antilla la iluminación exterior es una de las premisa fundamentales para la Unión Nacional Eléctrica (UNE) debido al mal estado existente en las avenidas con respecto al nivel de iluminación, gasto de energía eléctrica, tiempo de vida útil y mantenimiento eléctrico con respecto a las luminarias existentes , lo que da al traste a una baja eficiencia energética .Este trabajo está dirigido a la avenida principal Carlos Manuel de Céspedes la cual tiene una distancia de 3,7 Km en los cuales están comprendidos tres barrios: Carlos Manuel de Céspedes ,Vista Alegre y la Cuchilla con una cantidad de luminarias totales de 80 creadas de vapor de sodio a alta presión con una potencia de 250W.

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

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

Una lámpara de última generación ronda los 110 lúmenes/watio mientras que una lámpara todavía hoy utilizada de vapor de mercurio a alta presión tiene una eficiencia de 50 lúmenes/watio, es decir, se ha duplicado el rendimiento. De igual modo, una luminaria actual dispone de reflectores con rendimientos del 80-85%, sistemas de regulación de lámpara que controlan la contaminación lumínica, etc. todo ello hace que sean elementos ya de por sí eficientes. Los conjuntos formados por luminaria y lámpara son altamente eficientes, mucho mejores que los que disponíamos hace años. Así, su evolución podría asemejarse a la industria del automóvil, con menor consumo, más prestaciones, más velocidad en resumen, enormes diferencias[6].

2.3 Características técnicas de las lámparas.

2.3.1 Lámparas de vapor de sodio a baja presión.

La descarga eléctrica en un tubo con vapor de sodio a baja presión produce una radiación monocromática característica formada por dos rayas en el espectro (589 nm y 589.6 nm) muy próximas entre sí. La radiación emitida, de color amarillo, está muy próxima al máximo de sensibilidad del ojo humano (555 nm). Por ello, la eficacia de estas lámparas es muy elevada (entre 160 y 180 lm/W). Otras ventajas que ofrece es que permite una gran comodidad y agudeza visual, además de una buena percepción de contrastes. Por contra, su monocromatismo hace que la reproducción de colores y el rendimiento en color sean muy malos haciendo imposible distinguir los colores de los objetos. Ver Figura 2.1

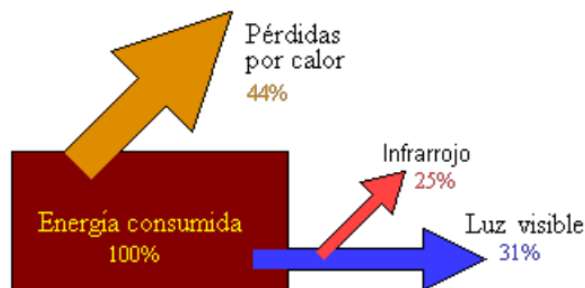


Figura 2.1 Balance energético de la Lámpara de vapor de sodio a baja presión.

La vida media de estas lámparas es muy elevada, de unas 15000 horas y la depreciación de flujo luminoso que sufren a lo largo de su vida es muy baja por lo que su vida útil es de entre 6000 y 8000 horas. Esto junto a su alta eficiencia y las ventajas visuales que ofrece la hacen muy adecuada para usos de alumbrado público, aunque también se utiliza con finalidades decorativas. En cuanto al final de su vida útil, este se produce por agotamiento de la sustancia emisora de electrones como ocurre en otras lámparas de descarga. Aunque también se puede producir por deterioro del tubo de descarga o de la ampolla exterior. En estas lámparas el tubo de descarga tiene forma de U para disminuir las pérdidas por calor y reducir el tamaño de la lámpara. Está elaborado de materiales muy resistentes pues el sodio es muy corrosivo y se le practican unas pequeñas hendiduras para facilitar la concentración del sodio y que se vaporice a la temperatura menor posible. El tubo está encerrado en una ampolla en la que se ha practicado el vacío con objeto de aumentar el aislamiento térmico. De esta manera se ayuda a mantener la elevada temperatura de funcionamiento necesaria en la pared del tubo (270 °C).

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

2.3.1 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 ($T_{color} = 2100$ K) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ($IRC = 25$, aunque hay modelos de 65 y 80). No obstante, esto se consigue a base de sacrificar eficacia; aunque su valor que ronda los 130 lm/W

sigue siendo un valor alto comparado con los de otros tipos de lámparas. Ver Figura 2.2.

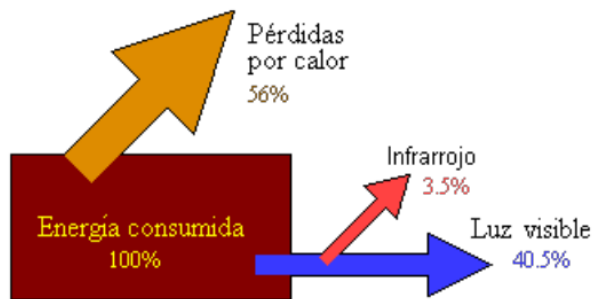


Figura 2.2 Balance energético de la lámpara de vapor de sodio a alta presión.

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.

2.3.2 Lámparas de arreglo de LED.

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 tensión al diodo. Los electrones se mueven en una serie de órbitas fijas alrededor del núcleo de los átomos. Cuando un electrón absorbe energía extra de la tensión introducida, 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 ampollitas eficientes. Gracias a la alta calidad de los materiales que lo componen y a su larga vida útil requieren ser reciclados menos a menudo. Los LED de color cubren todo el espectro de colores de luz visible, lo que ofrece al mercado innumerables posibilidades. Además, poseen un alto índice cromático, gracias a lo cual los colores se ven más naturales.

El tiempo medio de vida de una lámpara de LED oscila entre 50.000 y 100.000 horas. La última tecnología de LED de montaje superficial y gran flujo luminoso está por encima de 100.000 horas. Ver Figura 2.3.

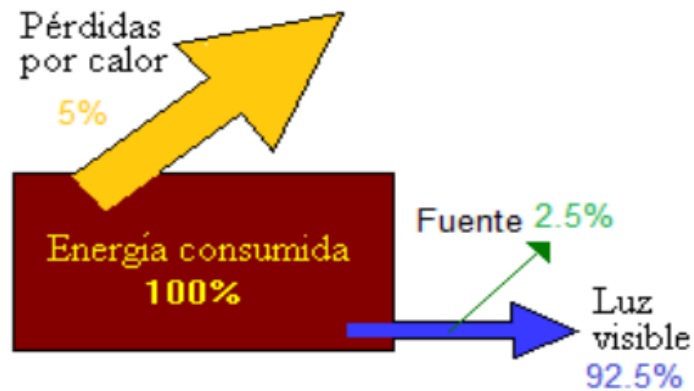


Figura 2.3 Balance energético de una lámpara de LED.

2.4 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema instalado.

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

- Muy bajos niveles de iluminación en todas las vías.
- La falta de luminarias completas (ausencia de pantallas protectoras, etc.)
- La necesidad de restituir el conductor.
- Falta de lámparas y sustitución de las rotas.
- En la mayoría de los casos la altura de las torres no es la adecuada en correspondencia con el flujo luminoso de las lámparas utilizadas.
- La disposición de las luminarias en algunos casos no es la más conveniente teniendo en cuenta las características de la vía donde se encuentran.
- El uso de diferentes tipos de lámparas y luminarias para una misma vía.
- La presencia de árboles cerca del tendido eléctrico de alimentación.

Por todas estas deficiencias encontradas, se puede afirmar que el sistema de alumbrado viario del municipio de Antilla, carece de las condiciones necesarias

para brindarles seguridad a los peatones y conductores de vehículos mientras circulan por la avenida Carlos M. de Céspedes. Ver Figura 2.4.



Figura 2.4 Muestra de las deficiencias del sistema de iluminación.



Figura 2.5 Muestra de los niveles de iluminación nocturno.

Para obtener los datos reales de los niveles de iluminación se hicieron mediciones con el Luminometers o luxómetro UT382 Serie en los dos tramos escogidos de la calzada.



Figura 2.6 luxímetro UT380.

2.5 Representación de los niveles de iluminación. Avenida Carlos Manuel de Céspedes.

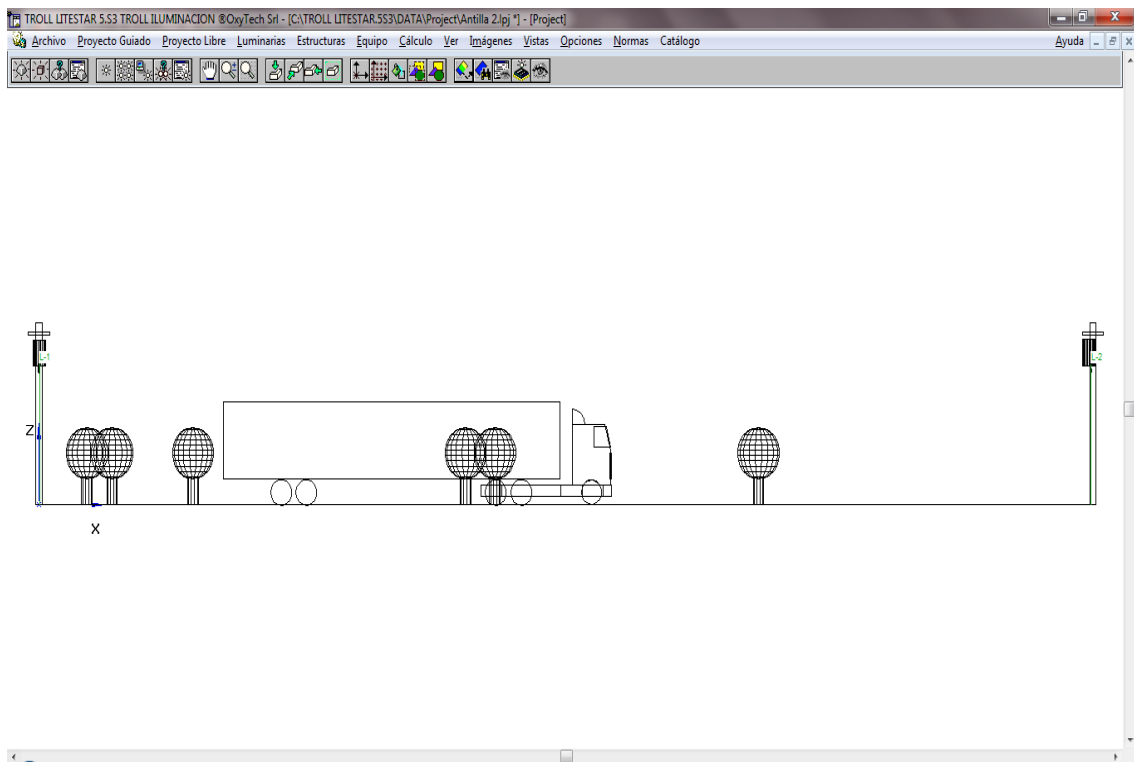


Figura 2.7 Software profesional de iluminación LITESTAR 5.S3.

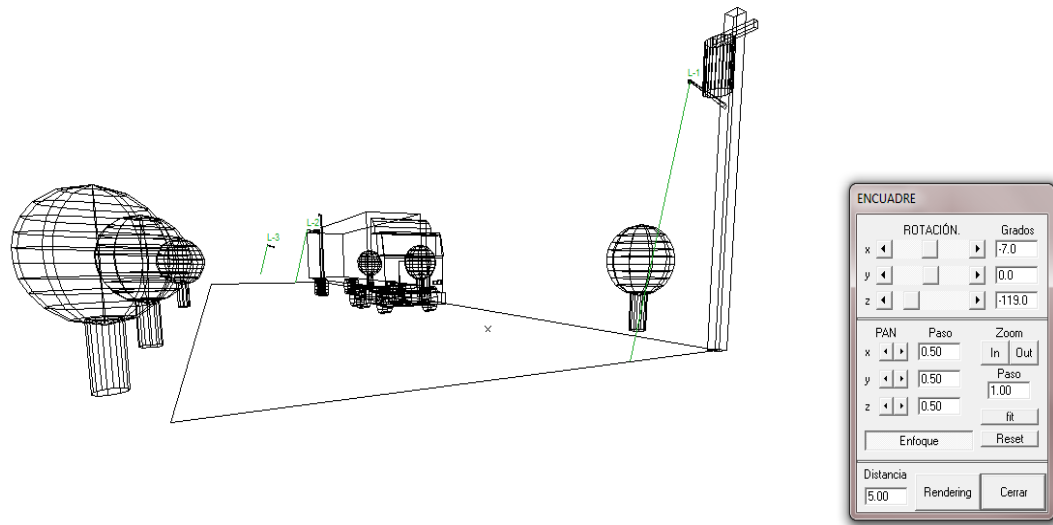


Figura 2.8 Vista en tercera dimensión de la avenida Carlos M. de Cespedes.

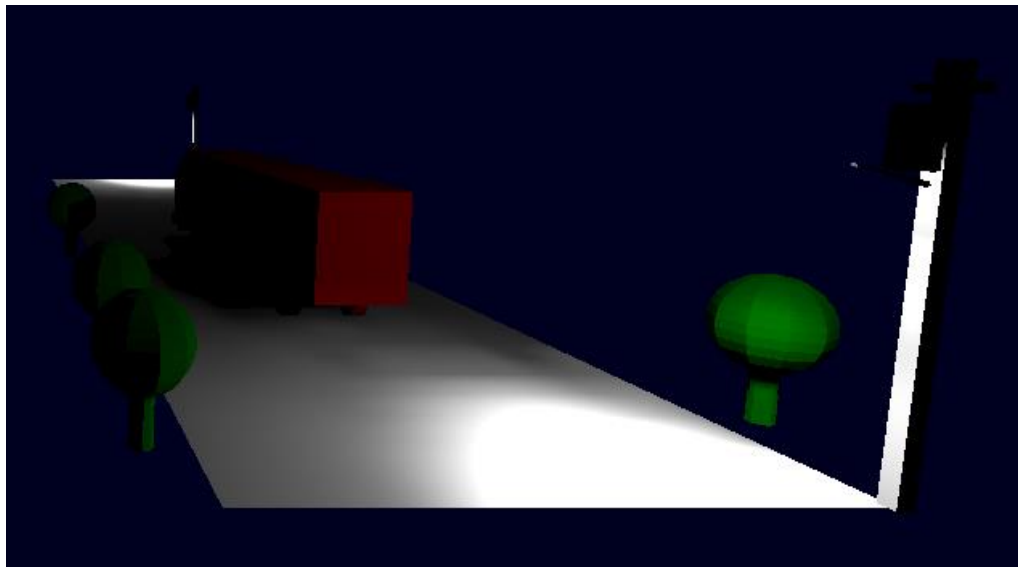


Figura 2.9 Simulación de la avenida en 3D.

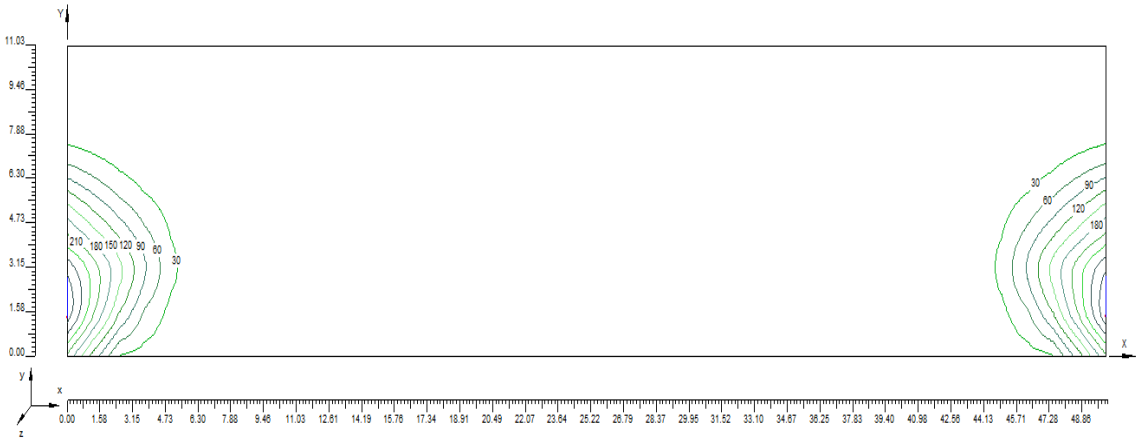


Figura 2.10 Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

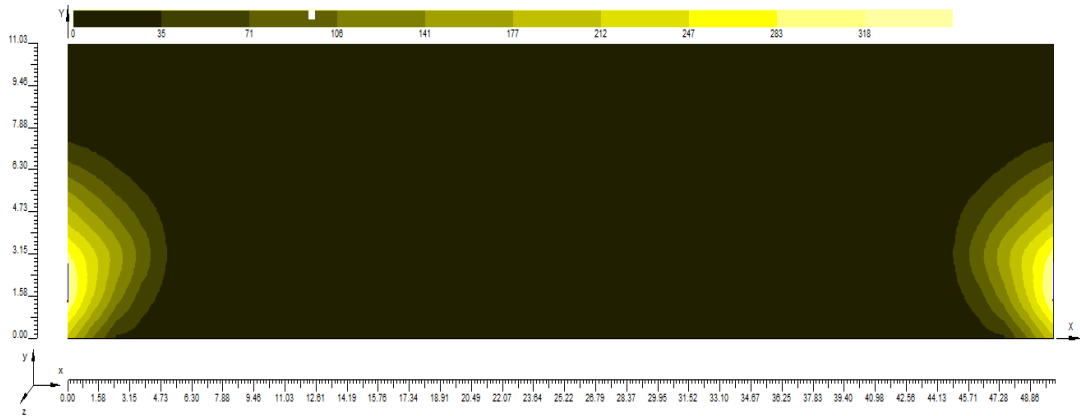


Figura 2.11 Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

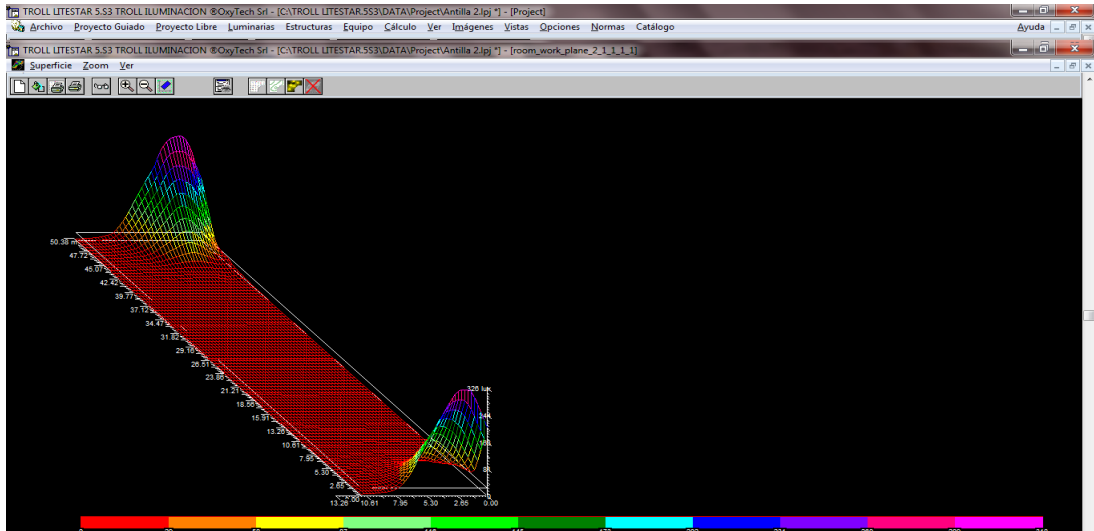


Figura 2.12 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

Como se muestra en la figura 2.12 los niveles de iluminación son bajos y no uniformes, ocasionando deslumbramiento y cansancio visual para los conductores y peatones.

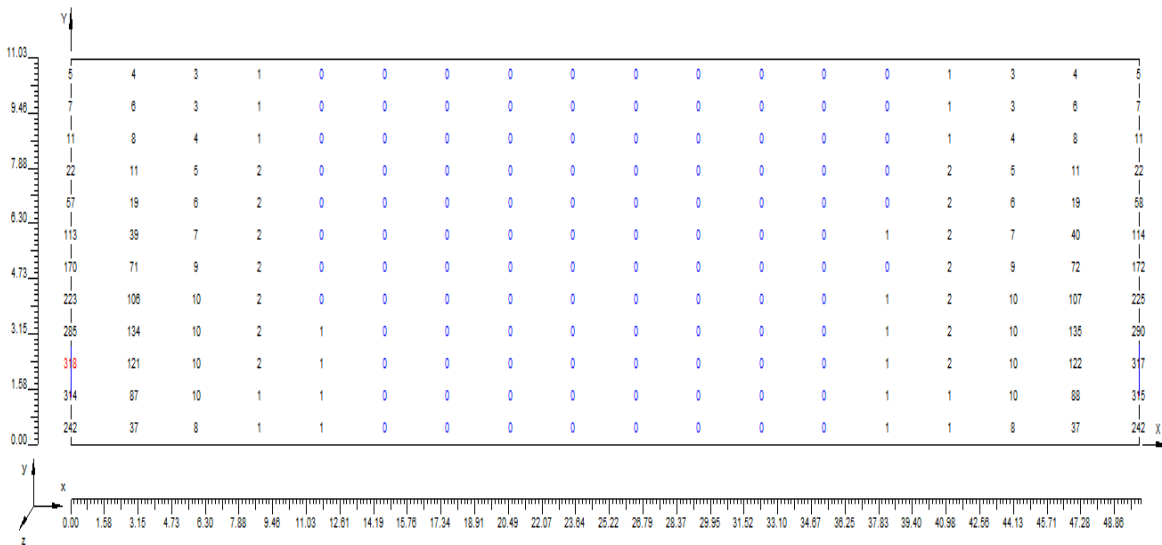


Figura 2.13 Distribución de los lux que llegan a la calzada.

En la Figura 2.13 podemos apreciar como 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.

2.6 Conclusiones Parciales.

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

CAPÍTULO III: PROPUESTA PARA REDUCIR EL CONSUMO DE ENERGÍA.

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pretende dar 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 propone instalar un sistema de alumbrado, se debe tener la seguridad de que los equipos seleccionados estén en óptimas condiciones para, proporcionar el máximo confort visual y los niveles de iluminación demandados. La calzada a iluminar definirá según su característica el tipo de lámpara que se utilizará y su distribución. Por supuesto que se hace preciso considerar también el factor económico ya que según el tipo de alumbrado a utilizar se comprobará que sea el más económico, en vez de otras opciones de alumbrado.

Precisamos por ello, conocer los tipos de lámparas y luminarias que vamos a emplear, y así mediante el uso del método utilizado, establecer el número de luminarias propuesto para producir los niveles de iluminación requeridos. Utilizando el software profesional LITESTAR 5.S3, se realizarán todas las simulaciones de las vías y calzadas. Con la realización de este proyecto se garantiza el principal objetivo del alumbrado viario, proporcionar al conductor la visibilidad necesaria para ver los obstáculos y el trazado de la carretera, con el tiempo preciso para efectuar las maniobras que garanticen su seguridad, además de dotarlo de confort visual mientras conduce.

Tipos de lámparas y la luminaria a utilizar

Para la determinación de los tipos de lámparas y la luminaria a utilizar se tuvieron en cuenta varios aspectos que tienen estrecha relación con el lugar donde se pretende ejecutar el estudio, ya que en estos casos se deben tener presentes las valoraciones de los trabajadores responsables de la iluminación, sus criterios acerca de los equipos que se encuentran prestando servicio actualmente y de ellas extraer las mejores variantes. De este modo obtenemos de manera práctica las mejores propuestas. Siendo terminado el trabajo, este debe sugerir todas las variantes posibles y de ellas demostrar cuál es la más factible. Para esto se analizaron las características de las lámparas a sugerir y se definió cual se utilizaría en el montaje teniendo en cuenta que en el país se está realizando proyecto de este mismo tipo como el del Malecón habanero, Varadero, Santiago de Cuba, la avenida libertadores y la avenida del aeropuerto internacional de la provincia de Holguín.

3.3 Características a tener en cuenta.

1. Fiabilidad.

- El LED no tiene partes móviles o frágiles.
- Las lámparas LED son construidas modularmente y en caso de avería de un LED, sólo se apaga el módulo relativo y no toda la farola. Su construcción en estado sólido, libre de filamentos, cápsulas interiores, cristales, etc. hace que los sistemas LED resulten perfectos para ser utilizados en aplicaciones de iluminación exterior bajo condiciones extremas como puentes y vialidades de alta circulación.
- Los LED tienen la capacidad de alcanzar su emisión máxima prácticamente de manera instantánea luego de encenderlos y bajo condiciones extremas funcionan sin problema
- Alcanzan una máxima salida luminosa instantáneamente y pueden soportar altas frecuencias de encendido y apagado sin deteriorarse o acortar su vida útil.

2. Eficacia de una luminaria LED para vialidades.

Esto depende principalmente del desempeño, lo actualizable de la luminaria, su garantía y la confiabilidad.

En cuanto al desempeño, cada uno de los componentes de luminaria tiene cierto desempeño, pero conforme los elementos se suman, la relación lumen/watt se demerita. Por poner un ejemplo, el chip de LED tiene un desempeño de 130 lumen/watt, el sistema óptico le resta y el desempeño desciende a 115 lumen/watt, el dissipador térmico lo deja en 100 lumen/watt, el equipo electrónico lo deja en 90 lumen/watt, mientras que el luminario ya instalado lo reduce hasta 80 lumen/watt. Este indicador final es el que nos interesa para adquirir una luminaria. La aplicación ya en el proyecto, por su parte, se mide en watt por metro cuadrado.

Para medir este desempeño es recomendable comparar el desempeño del sistema midiendo la cantidad de luz en la superficie del camino respecto a la energía total del sistema.

Se pueden utilizar mediciones como la densidad de potencia o vatio por metro cuadrado (w/m^2) en lugar de las mediciones tradicionales como los lm/w . Este último sólo hace referencia a la fuente luminosa (chip LED) y no al sistema en general. Es importante que una luminaria sea actualizable, la tecnología LED ha alcanzado un alto nivel de madurez; sin embargo, anticiparse al futuro con sistemas escalables y actualizables, le permitirá realizar inversiones adicionales que potencialicen el gasto inicial.

En cuanto a la garantía, lo mejor es encontrar un socio o producto confiable y comprometido a responder en caso de ser necesario. Las empresas bien establecidas y con una larga trayectoria es más sencillo salvaguardar la inversión. Si existen cláusulas de garantía, asegúrese de leer la letra chica. Una garantía de muchos años sólo sobre la carcasa carece de valor. Selecciona un proveedor que ofrezca una cobertura total sobre todos los componentes del luminario con tecnología LED durante la totalidad del período de garantía. La confiabilidad, por su lado, es un asunto en el que se debe ser escéptico y solicitar

los informes correspondientes. Se recomienda estar atento a las afirmaciones que no están respaldadas por pruebas técnicas realizadas en laboratorios acreditados e independientes. Los aspectos importantes a considerar antes de tomar una decisión son: potencia de entrada, salida luminosa y datos fotométricos. Hay declaraciones del fabricante tales como: “El flujo luminoso puede variar por cada LED”, esto señala la incapacidad del fabricante de producir un sistema constante. También las declaraciones que hagan referencia a la salida luminosa del chip LED y no del luminario deben despertar sospechas, dado que no describe el rendimiento del sistema.

3. Iluminación.

La iluminación con LED presenta indudables ventajas como: fiabilidad, mayor eficiencia energética, mayor resistencia a las vibraciones, mejor visión ante diversas circunstancias de iluminación, menor disipación de energía, menor riesgo para el medio ambiente (reducción importante de emisiones de CO₂), capacidad para operar de forma intermitente de modo continuo, respuesta rápida, etc. (Ver anexo1). Cabe destacar que diversas pruebas realizadas por importantes empresas y organismos han concluido que el ahorro energético varía entre el 70 y el 80% en la factura energética respecto a la iluminación tradicional que se utiliza hasta ahora. Los LED de luz blanca son uno de los desarrollos más recientes y pueden considerarse como un intento muy bien fundamentado para sustituir los focos o bombillas actuales (lámparas incandescentes) por dispositivos mucho más ventajosos. En la actualidad se dispone de tecnología que consume el 92% menos que las lámparas incandescentes de uso doméstico común y el 30% menos que la mayoría de las lámparas fluorescentes, además, estos LED pueden durar hasta 20 años y suponer el 200% menos de costes totales de propiedad si se comparan con las lámparas o tubos fluorescentes convencionales.

4. Calidad de la luz

Un buen luminario con tecnología LED ofrece un mayor confort visual, suelta reproducción del color (CRI igual o menor que 70) permite distinguir mejor los

objetos, sus colores, formas y otros detalles. Estos luminarios ofrecen una distribución homogénea con menor incidencia de sombras. Los círculos “virtuosos” son espacios que en algunos casos se transforman, por medio de la luz, en ambientes urbanos acogedores ya que activan a los habitantes y la economía de la zona. Son lugares que se ven estéticos por el confort visual, pero donde también la luz ofrece una percepción de seguridad en las noches; lo que desemboca, en ciertas ocasiones, en la disminución de criminalidad y vandalismo.

La luz blanca de alta calidad de un LED ayuda a mejorar la seguridad en vías carreteras. Ofrece claros beneficios al compararla con la luz amarilla del sodio convencional.

Puede ayudar a reducir el índice de accidentes debido a la mejora sustancial de la visibilidad de conductores y transeúntes. También activa nuestra visión periférica, permitiéndonos detectar más rápidamente los objetos y movimientos a nuestros costados.

Este tipo de luz genera un menor deslumbramiento que la luz de color amarillo según recientes investigaciones, lo que aumenta nuestra visibilidad en la lluvia y en la niebla.

Es importante recordar que las luminarias con tecnología LED se compone de varios chips que al encender de forma simultánea se convierten en una fuente luminosa. Cuando el sistema se encuentra mal diseñado, la falla de uno de estos chips puede resultar en puntos oscuros en la vialidad, poniendo en riesgo la seguridad de conductores y transeúntes.

Los diseños de Philips utilizan múltiples ópticas en diferentes capas, combinando la salida luminosa de los chips LED en un lugar específico, previniendo los puntos oscuros en el caso que se presente una falla en un chip LED. Esto no sólo ofrece una iluminación más uniforme, sino que además garantiza mayor seguridad en las vialidades a lo largo de la vida útil del sistema.

5. Costos beneficios

El sistema LED tiene un costo inicial mayor, del doble al triple, con respecto de las soluciones tradicionales. Considerando su mayor duración, el ahorro energético y el mantenimiento casi nulo, se obtiene un ahorro neto del 50% al 80%. El departamento de la energía de los Estados Unidos de América estima que, reemplazando, en los próximos 20 años, en EE.UU. la actual iluminación vial y urbana con los LED, se pueda disminuir el consumo de energía eléctrica del 62%. Reducir las emisiones contaminantes de 250 millones de toneladas de anhídrido carbónico. Evitar gastos financieros por 115 millones de dólares en financiaciones no necesarias para la construcción de centrales eléctricas. La producción de semiconductores será cada vez más económica al aumentar volúmenes de producción y, por lo tanto, la tecnología LED, abaratará los costes. La tecnología LED está en creciente desarrollo y la eficacia luminosa de los LED aumenta rápidamente, como indica en la figura siguiente, mientras que la búsqueda por los otros tipos de iluminación se ha abandonado.

6. Duración

Las bombillas LED no tienen filamentos u otras partes mecánicas de fácil rotura y fallo por "fundido". No existe un punto en que cesen de funcionar, su degradación es gradual a lo largo de su vida. Se considera una duración entre 30.000 y 50.000 horas, hasta que su luminosidad decae por debajo del 70%, eso significa entre 10 y 30 años en una aplicación de 10 horas diarias 300 días/año, reduciendo los costes de mantenimiento y remplazo.

7. Baja tensión

La posibilidad de alimentarse a 12 y 24 Volt. Reduce los riesgos de electrocución, además el cableado puede ser netamente inferior en sección, ahorrando presupuesto a la empresa.

8. Baja emisión de calor

Al consumir poca energía, las bombillas LED emiten poco calor. Es la llamada luz fría. Por ejemplo, una bombilla halógena gasta de 50W, 45 aproximadamente en emisión de calor, esto supone un gasto extraordinario en aire acondicionado, siendo necesarios unos 70W adicionales para deshacerse del calor generado por esa bombilla.

9. Respuesta instantánea.

El encendido y apagado de las bombillas LED es rapidísimo, a diferencia de otros sistemas no se degrada por el número de encendidos; lo que los hace muy útiles en sistemas de apagado y encendido por detección de movimiento.

3.4 Propuesta del nuevo sistema de iluminación LED.

Características:

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

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

Tensión de Trabajo: 90v- 265 V Flujo Luminoso: 9000 lm



Figura 3.1 Luminaria LEDS propuesta.

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

Avenida Carlos M. de Céspedes. (Tramo-1).

- Disposición de las luminarias: Tresbolillo
- Interdistancia promedio: 35 m
- Altura del punto de luz: 8 m

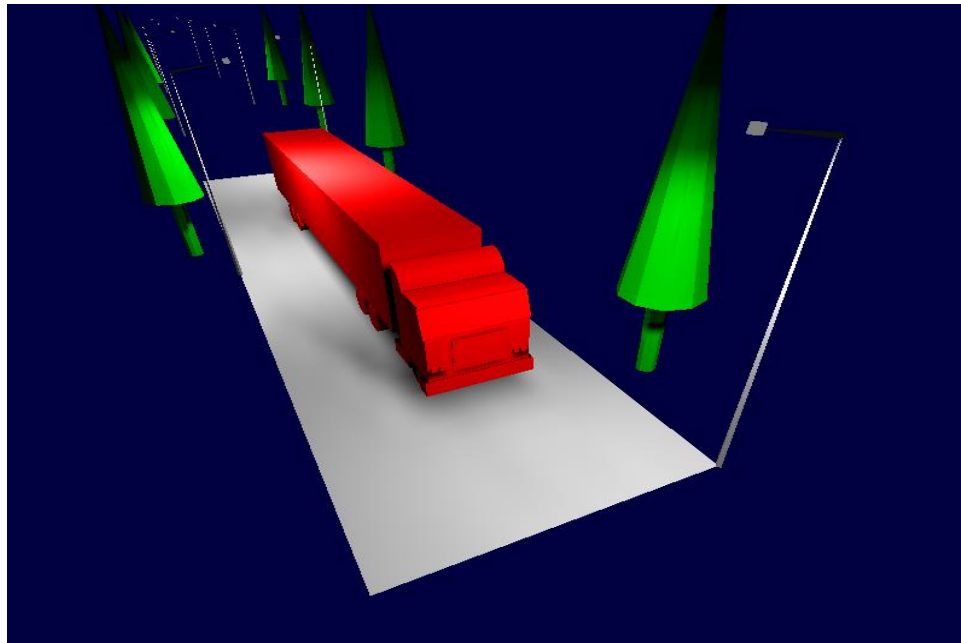


Figura 3.2 Representación física de la vía mejorada

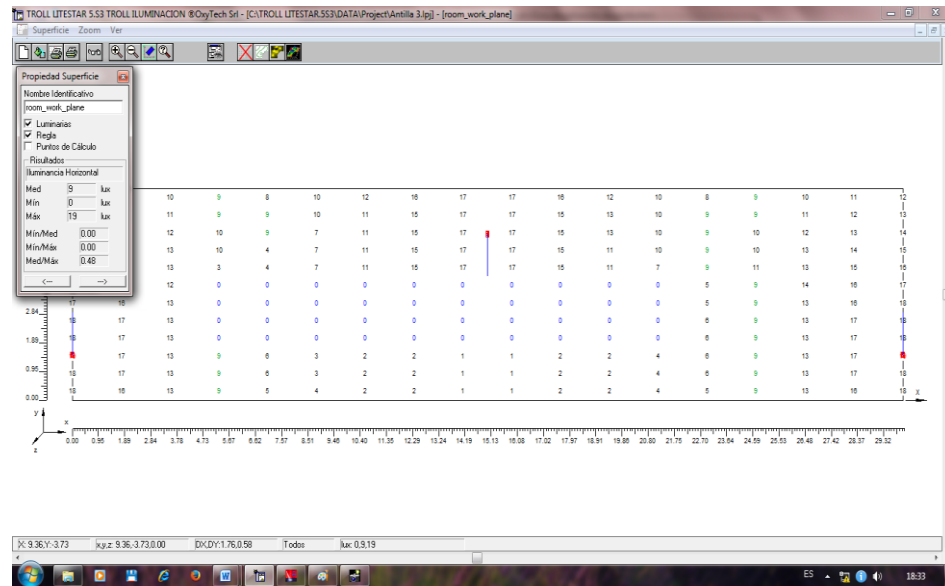


Figura 3.3 Distribución de los lux que llegan a la calzada

$$E_{mín} = 1lux$$

$$E_{ms} = 9lux$$

$$E_{máx} = 18lux$$

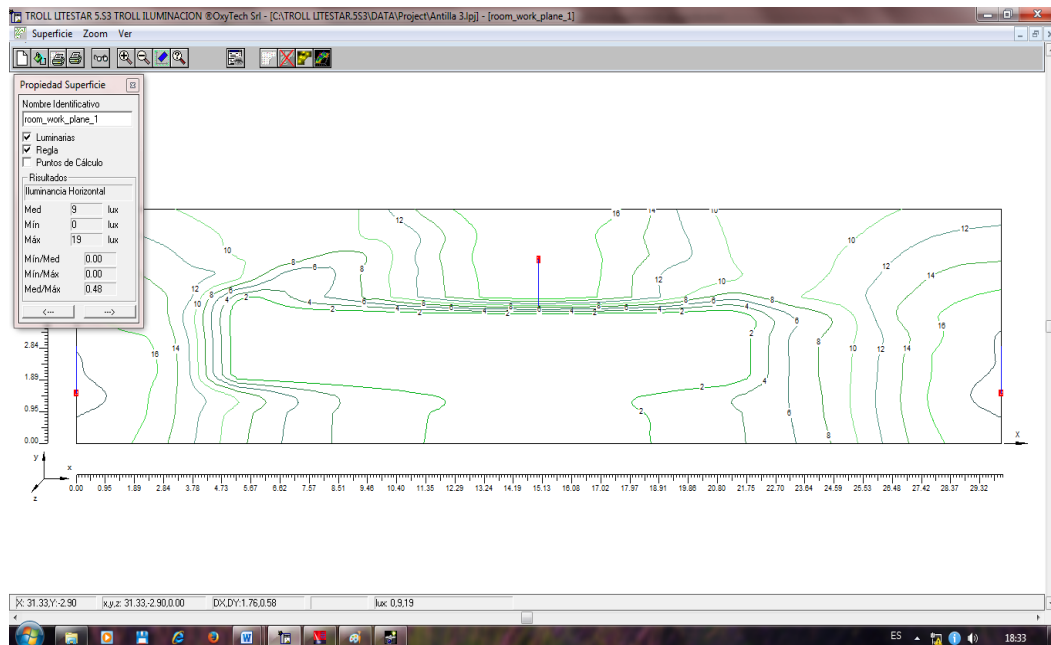


Figura 3.4 Diagrama isolux del tramo escogido de la calzada.

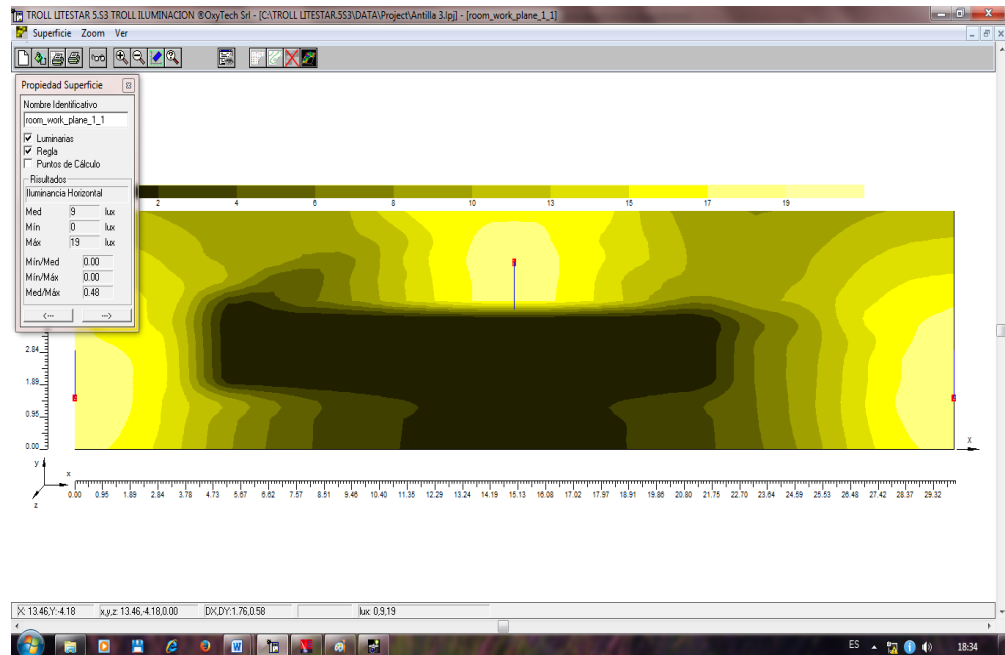


Figura 3.5 Proyección de los puntos de luz sobre la calzada.

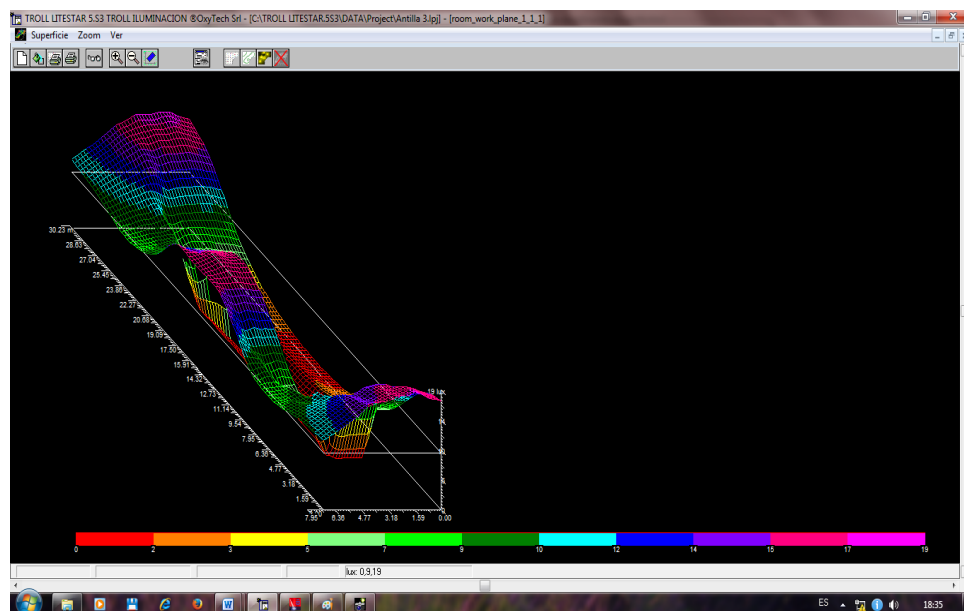


Figura 3.6 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux).

En las figuras (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) y (3.6) se muestra el tramo 1 de la calzada en el cual se refleja una mejor distribución de la luz, con un color claro y un aumento de los niveles de iluminación previniendo la posibilidad de deslumbramiento y brindando un mayor confort al conductor y a los peatones.

Utilizando el método de los nueve puntos en el tramo1 de la calzada podemos obtener que la iluminancia media proyectada por las dos luminarias comprendidas en este tramo son de.

Tabla3.1 Datos en lux de las luminarias

Datos luminaria 1		Datos luminaria 2	
E1	5,08	E1	5,92
E2	5,48	E2	1,97
E3	2,54	E3	0,72
E4	10,12	E4	5,72
E5	6,73	E5	1,89
E6	3,74	E6	0,68
E7	5,16	E7	5,76
E8	3,19	E8	2,05
E9	2,86	E9	0,64

$$E_{m1} = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

$$E_{m1} = \frac{5.92 + 2*1.97 + 0.72 + 2*5.72 + 4*1.89 + 2*0.68 + 5.76 + 2*2.05 + 0.64}{16} = 2,59lx$$

$$E_{m2} = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

$$E_{m2} = \frac{5.08 + 2*5.48 + 2.54 + 2*10.12 + 4*6.73 + 2*3.74 + 5.16 + 2*3.19 + 2.86}{16} = 5,48lx$$

3.6 Valoración Económica

En este epígrafe se realizará un análisis del impacto económico y medio ambiental de la tecnología propuesta mostrando los resultados frente al análisis de las tecnologías de alumbrado existentes. En la esfera económica nos apoyamos en el VAN, Tiempo de Amortización, las cuales son herramientas para

un mejor análisis estadístico del tema en cuestión. En el desarrollo de este rótulo haremos alusión a sus características.

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

Valor actual neto (VAN)

Para calcular el VAN de un proyecto cualquiera se calcula simplemente el valor actual de las entradas futuras al costo apropiado de capital y del resultado se resta el desembolso original.

El criterio para aceptar o rechazar de acuerdo con el VAN expresado por medio de símbolo es el siguiente:

- $0 \geq \text{VAN}$ Acepta $0 < \text{VAN}$ Rechazar

Es importante destacar que el VAN no solo es un indicador que permite hacer un “ranking” de varios proyectos. Mide además el valor o excedente generado por el proyecto, por encima de lo que será producido por los mismos fondos se la inversión se colocase en un plazo fijo con interés igual a la tasa de descuento.

Tiempo de amortización

El Tiempo de amortización de las inversiones se utiliza para la comparación económica de variantes de inversión y significa el tiempo en que la inversión se amortiza.

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

Tabla 3.2 Sustitución VSAP por LED

Lámpara	Potencia	Cantidad	Energía
VSAP	250 W	80	87600 kW
LED	100 W	114	49932 kW

Tabla 3.3 Recursos y costos para la mejora del sistema de alumbrado viario.

Recursos	U	Precio (cuc)	Cantidad (d)	Costo
Luminarias LED	u	240	114	27360
Conductor de Cobre 4	Kg	0.35	457	159,95
Brazos para Lámparas.	u	29.05	34	987,7
Fotocelda.	u	8.82	34	299,88
Relé magnético 220V, 50A.	u	1.68	1	1,68
Percha.	u	1.24	38	47,12
Pasadores.	u	0.82	38	31,16
Aislador de Polea	u	10.67	38	405,46
Taype Plástico.	u	0.35	6	2,1
Taype de goma.	u	0.88	6	5,28
Conductor TW 10.	m	0.96	68	65,28
Postes hormigón 9.15	u	4.63	34	157,42
			Total =	29523,03

Tabla 3.4 Inversión de mano de obra.

Tareas	Cantidad	Costo (CUP)
Inspección diaria	3	4,80
Planificación y llenado del permiso de seguridad	3	
Permiso de trabajo	3	
Transporte por carretera	6 km	0,36
Instalación de lámparas	114	174,42
Alambrar torres	114	229,4
Levante y tensión de línea	2380	309,74
Abrir línea secundaria	1	
		\$ 718,72

Henry Batista Arcaya

Costo de la inversión total del proyecto.

$$Costo_{recurso} + Costo_{M.obra} = Costo_{INV.Total}$$

$$29523,03 + 718,72 = \$ 30241,75$$

Ahorro de energía en un año por doce horas de trabajo diario.

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

$$87600 - 49932 = 37668 \text{ kWh}$$

En la siguiente Tabla 3.5 se utiliza la tarifa B-1 en la cual el costo por kWh consumido es 0,24 para las lámparas VSAP y LED, con la energía consumida en un año podemos obtener que su valor en CUP es:

Tabla 3.5 Comparación entre VSAP y LED

Lámparas	Energía (kWh)	Costo/kWh consumido (CUP)	Costo anual de Energía (CUP)
VSAP	87600	0,24	21024,00
LED	49932	0,24	11983,68
Diferencia	37668	-	9040,32

Por tanto el ahorro de energía en un año es de \$ 9040,32.

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

$$T_A = \frac{Costo_{INV.Total}}{Ahorro.Energ_{1.año}} \quad T_A = \frac{30241,75}{9040,32} = 3,3 \text{ años}$$

Tabla 3.6 Cálculo del VAN

VAN	
1 año	-22380,6022
2 año	-15544,82
3 año	-9600,66
4 año	-4431,83
5 año	62,80
6 año	3971,18
7 año	7369,78
8 año	10325,07
9 año	12894,90
10 año	15129,52
11 año	17072,68
12 año	18762,38
13 año	20231,69
14 año	21509,34
15 año	22620,35
16 año	23586,44
17 año	24426,52
18 año	25157,02
19 año	25792,24
20 año	26344,61

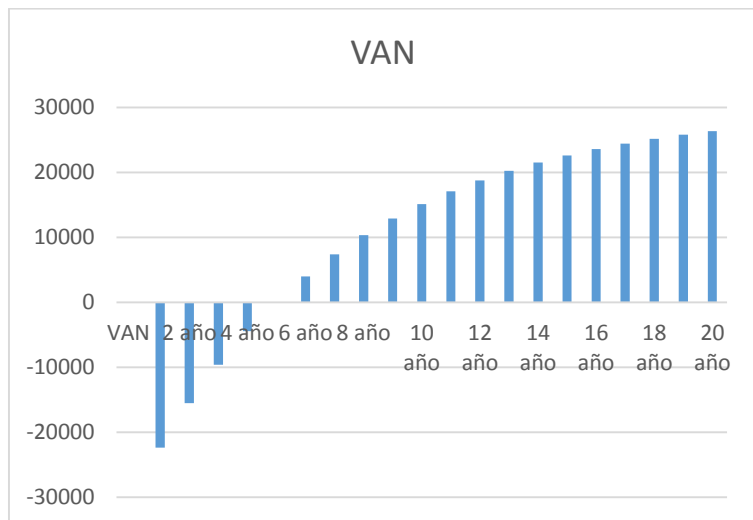


Figura 3.7 Gráfico del comportamiento del VAN durante 20 años

3.7 Tecnología LED, medio ambiente y sociedad.

- Una instalación LED consume entre 50 y 70 % menos energía que los sistemas convencionales y por ello el sistema LED genera menos gases de efecto invernadero como el dióxido de carbono (CO₂), lo que la hace más sustentable.
- La vida útil de esta tecnología también es mucho mayor con una duración de 70 mil horas o más. Esto reduce notablemente los gastos de mantenimiento ya que la tecnología convencional solamente cuenta con una vida de 20 mil horas promedio.
- La iluminación LED ofrece una luz blanca con una alta reproducción cromática que ayuda a distinguir mejor los colores, objetos, a las personas y los vehículos en la noche. Esta iluminación normalmente es mejor que

la que otorgan los sistemas convencionales de vapor de sodio y aditivos metálicos (cuarzo).

- La compatibilidad con los equipos que tienen las soluciones con iluminación LED es mucho más fácil de controlar. La electrónica con la que está diseñada la tecnología lo hace más compatible con una amplia gama de sistemas de control, como la tele gestión o los temporizadores. También permiten el monitoreo remoto y la ubicación de fallas en su instalación
- A diferencia de otras tecnologías como las lámparas fluorescentes o de inducción, los diodos emisores de luz no contienen sustancias peligrosas como el mercurio, el plomo u otros materiales tóxicos.
- Las bombillas LED son totalmente reciclables y ecológicas ya que no contienen mercurio, ni materiales tóxicos como las lámparas fluorescentes, o CFL.
- No emiten rayos ultravioleta por lo que atraen menos insectos.

3.8 Conclusiones

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

Conclusiones Generales

1. En este trabajo de diploma se realizó un estudio de las características y condiciones del sistema de alumbrado de la principal avenida del municipio Antilla de la provincia de Holguín.
2. Se mejorará la eficiencia del sistema de iluminación viaria del municipio Antilla, hasta el punto de proporcionar confort visual y seguridad a los conductores y peatones y un ahorro de energía de 37668kW y 9040,32 CUP al año.
3. Se brinda un procedimiento general para el estudio de instalaciones de sistemas de alumbrado público que permite un análisis integral de los aspectos cuantitativos cualitativos y económicos.
4. Se ofrece una metodología práctica para la evaluación técnica-económica y cualitativa preliminar de las variantes de fuentes luminosas que conlleva a la obtención de la más racional, a partir de la iluminación con LED.
5. Para la simulación de las vías y la representación de los niveles de iluminación en las distintas calzadas, se utilizaron software profesional TROLL LITESTAR 5.S3.
6. La metodología utilizada se sustenta en bases científicas, que permite hacer un análisis integral de los sistemas de iluminación teniendo en cuenta las deficiencias en la proyección del mismo.
7. El tiempo de amortización de la inversión es de 3 años y tres meses haciéndose factibles las propuestas.

Recomendaciones

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

BIBLIOGRAFIA.

- [1] R. G. Llanes, "Análisis y propuesta de cambio de lámparas convencionales por lámparas Led en la Empresa Pedro Sotto Alba," Departamento de eléctrica, ISMM, 2013.
- [2] A. D. Nápoles, "Propuesta para mejorar la eficiencia del alumbrado público vial de las principales avenidas del municipio Las Tunas con tecnología LED," Departamento de eléctrica, 2016.
- [3] C. L. Guerrero, " Viabilidad del uso de luminarias LED en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara," Departamento de electrica, 2013.
- [4] D. Acosta, "DISEÑO DE UN SISTEMA DEILUMINACIÓN CON TECNOLOGÍA LED," Departamento de eléctrica, 2010.
- [5] M. A. De la Rosa, "Evaluación de cambio del alumbrado actual por alumbrado LED en la empresa CEPRONIQUEL ", Departemento eléctrica, 2014.
- [6] A. M. C. M. Islem "Eficiencia energética del sistema de alumbrado público del municipio de Moa," Departamento de eléctrica, 2015.
- [7] J. Mazorra, Suministro Eléctrico de Empresas Industriales, 2017.
- [8] Iluminación de exteriores e interiores. Available:
<http://edison.upc.es/curs/llum>
- [9] airisled. (2017). Iluminación. Available: • <http://www.airisled.es>.
- [10] M. D. Gresequi, "Diseño y simulación de un sistema electrónico para el control del alumbrado público," 2010.
- [11] G. R. Arámbula, "Procedimientos de diseños para iluminar Exteriores," 1995.
- [12] C. L. Guerrero, " Viabilidad del uso de luminarias LED en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara," Departamento de eléctrica, 2013
- [13] G. Morales, "TECNOLOGIA LED PARA LASUSTITUCIÓN DE LAS LÁMPARAS TRADICIONALES," 2010
- [14] G. Morales, "TECNOLOGIA LED PARA LASUSTITUCIÓN DE LAS LÁMPARAS TRADICIONALES," 2010
- [15] F. Oscar, "Eficiencia del Sistema de Iluminación Exterior para garantizar la seguridad en la Empresa Ernesto Che Guevara de la Serna," 2004.

ANEXOS:

Anexo 1: Iluminación con LED.



Anexo: 2

AHORRO ANUAL AL SUSTITUIR UNA BOMBILLA CONVENCIONAL POR LED

Tipo de bombilla	Potencia bombilla	Horas de uso	Consumo año	Precio Kw	Gasto económico	Ahorro
INCANDESCENTE	100 W	8	292 kw	0,16	46,72 €	0%
BOMBILLA LED	11 W	8	32,12Kw	0,16	5,13 €	89%
BAJO CONSUMO	30 W	8	87,6Kw	0,16	14,01 €	0%
BOMBILLA LED	9 W	8	17,5Kw	0,16	2,80 €	80%
TUBO FLUORESCENTE	30 W	8	87,6Kw	0,16	14,01 €	0%
TUBO LED	9 W	8	17,5Kw	0,16	2,80 €	80%



Henry Batista Arcaya

Anexo 4: Lámpara LED 100W

