



Facultad Metalurgia- Electromecánica

Departamento de Eléctrica

Trabajo de Diploma

En opción al Título de Ingeniero Eléctrico

Título: *Diseño e Implementación de un sistema de iluminación de exteriores con tecnología LED alimentado por Paneles fotovoltaicos en la Empresa de proyectos del níquel CEPRONIQUEL.*

Autora: *Diana Pérez Matos.*

Tutor: *Ms.C Yetsy Silva Cala*

Consultante: *Ing. Alexei Cobas Louzado*

2017-2018

“Año 60 de la Revolución”

Declaración de autoridad.

Yo Diana Pérez Matos.

Autora de este Trabajo de Diploma tutorado por el Ms.C Yetsy Silva Cala, 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.

Diana Pérez Matos

(Diplomante)

Ms.C. Yetsy Silva Cala

(Tutor)

PENSAMIENTO

“Se puede vivir con dignidad, agradablemente, también en una sociedad donde el consumo no está en el centro de la vida cotidiana”



¿Qué es más importante: incrementar el consumo o no estropear un paisaje, no contaminar la salud de una ciudad?

DEDICATORIA

Dedico este trabajo:

- *A toda mi familia y en especial a mi madre y mi padre.*
- *A mi esposo y a toda su familia.*
- *A todos mis amigos.*
- *Al claustro de profesores.*
- *A los especialistas de CEPRONIQUEL.*

Agradecimientos

Agradezco a mi madre, mi hermano, mis primos, mis tías Odalis y Yanet, abuelos, en especial a Enrique a todos por creer en mí, a Leonardo mi esposo por su paciencia y comprensión y a su familia, tutores y especialistas que han contribuido con su apoyo, y conocimiento, a la revolución que ha permitido estudiar en un instituto universitario y realizar mis sueños de ser una ingeniera eléctrica como mi padre, que aunque no está físicamente estaría orgulloso de mi.

RESUMEN

En el presente proyecto de investigación se realizó un análisis del sistema de alumbrado público instalado en la empresa de proyectos del níquel del municipio de Moa en la provincia de Holguín. Basándose en lo relacionado con las características, usos y tipos de elementos utilizados en los sistemas de alumbrado público de diferentes fabricantes; de las cuales, se obtuvieron en detalle los accesorios instalados en cada una de las luminarias y la descripción necesaria para crear un sistema de gestión adecuada para el mantenimiento de las mismas sin importar el tipo de tecnología que presente.

Se tuvo en cuenta la protección del hombre y su entorno natural, la economía y la confiabilidad del sistema y se caracterizaron los sistemas de iluminación viaria, haciendo énfasis en la determinación de los problemas existentes. Se plasmó de manera concreta la solución efectiva de mantenimiento de estas luminarias de ya sea de tecnología LED o no, y los resultados obtenidos en la proyección del nuevo sistema de iluminación. Además se propone la inserción de un panel de celdas de fotovoltaicas para alimentar el sistema de iluminación propuesto. Finalmente se plantea un análisis económico, social y ambiental.

SUMMARY

In the present research project, an analysis of the public lighting system installed in the nickel projects company of the municipality of Moa in the province of Holguín was carried out. Based on what is related to the characteristics, uses and types of elements used in the public lighting systems of different manufacturers; of which, the accessories installed in each of the luminaires were obtained in detail and the necessary description to create an adequate management system for the maintenance of the same regardless of the type of technology presented.

The protection of man and his natural environment, the economy and the reliability of the system were taken into account and the road lighting systems were characterized, emphasizing the determination of the existing problems. The effective maintenance solution for these luminaires, whether LED technology or not, was concretely captured and the results obtained in the projection of the new lighting system. It also proposes the insertion of a panel of photovoltaic cells to power the proposed lighting system. Finally, an economic, social and environmental analysis is proposed.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	8
Situación Problemática.....	9
Problema.....	9
Hipótesis.....	10
CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL	11
1.1 Introducción.....	11
1.2 Estado del Arte	11
1.3 Base Teórica de la investigación. Definiciones.....	12
1.4 Magnitudes y unidades de medida.....	13
1.5 Deslumbramiento.....	14
1.6 Posibilidad de reencendido inmediato.....	15
1.7 Alumbrado público.....	15
1.8.1 Método del Lumen o del Cálculo del Flujo Luminoso	16
1.8.2 Método de los nueve puntos	20
1.9 Principales tipos de lámparas	21
1.10 Ventajas de la energía solar.....	29
1.11 Desventajas de la energía solar.....	30
1.11.1 El panel solar fotovoltaico.....	30
1.11.2 El regulador	32
1.11.3 Acumuladores. Tipos de baterías	32
1.11.4 Tipos de baterías.....	33
1.11.5 El inversor	34
1.12 Conclusiones Parciales.....	35
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
2.1 Introducción.....	36
2.2 Caracterización del Sistema de Alumbrado que se utiliza en la actualidad en la empresa.	36
2.3 Características técnicas generales de las lámparas instaladas.	36
2.4 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema instalado.....	37
2.5 Niveles de iluminación actuales en diferentes tramos de la vía en CEPRONIQUEL.....	37
2.6 Conclusiones Parciales.....	43

CAPITULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES	44
3.1 INTRODUCCIÓN.....	44
3.2 Propuesta para mejorar el sistema de iluminación exterior de CEPRONIQUEL.....	44
3.3 Características de LED en cuanto a:.....	44
3.4 Representación de los niveles de iluminación del sistema de alumbrado viario mejorado.....	47
3.5 Panel solar a utilizar	52
3.6 Valoración Económica	54
3.7 Tecnología LED, medio ambiente y sociedad.....	55
3.8 Conclusiones.....	56
Conclusiones Generales.....	57
Recomendaciones	58
Bibliografía.....	59

INTRODUCCIÓN

El paso consecutivo del hombre al desarrollar sistemas de energía autónoma nace de la necesidad de suministrar energía en sitios a los cuales llevar un tendido de red eléctrica convencional resultaría costoso, y en algunos casos hasta imposible por razones de ubicación y características geográficas. Es por eso que comienzan a surgir los desarrollos en sistemas autónomos que no dependan de centrales eléctricas ubicadas a miles de kilómetros de distancia, sino que sean sistemas capaces de tener en un mismo sitio todos los elementos que se necesitan para generar la energía que se requiere. Esta tecnología está creada para soportar condiciones extremas y para estar en funcionamiento largos períodos de tiempo sin requerir mantenimiento. Adicionalmente, ante el acelerado desarrollo y crecimiento de la demanda energética, diversas organizaciones están implementando estrategias y programas dirigidos a elevar de manera sistemática la eficiencia en el uso de la energía eléctrica y en la búsqueda de soluciones alternativas, limitando de este modo el crecimiento en la demanda.

Pero las consideraciones estéticas no han sido el único ni el principal motivo de las transformaciones en este campo. Lo son también las exigencias de calidad de los productos y materiales, y una apremiante necesidad de elevar la eficiencia en el uso de la energía eléctrica, un recurso natural no renovable, escaso, caro de producir y fuente de contaminación y deterioro ambiental.

Algunas de las fuentes de energías autónomas más utilizadas son la solar, eólica, biomasa, geotérmica y las producidas por combustibles fósiles. Por lo que se clasifican en renovables y no renovables. Los combustibles fósiles como el petróleo, gas natural, carbón son las más utilizadas pero son las llamadas contaminantes por producir residuos y gases contaminantes producto de la combustión y entran en el rango de no renovables. La energía solar es la que se obtiene de la radiación solar y es utilizada en dos tipos de sistemas, los Fotovoltaicos y los Térmicos. La energía solar puede ser aprovechada de distintos modos y debido a su característica de ser “eternamente renovable” es una excelente fuente de energía alternativa.

Desde tiempos remotos la energía solar ha sido utilizada de formas simples como secar ropa, calentar agua o secar cosechas, pero en la actualidad se ha visto que es posible producir electricidad a través de sistemas solares fotovoltaicos de ahí el interés de aplicarla en los hogares y sobre todo en nuestro proyecto de iluminación autónoma para satisfacer eléctricamente parcial o totalmente nuestras necesidades. Durante siglos, tanto el hombre como los demás seres vivos han aprovechado la energía solar como fuente de vida y como una opción energética. En los últimos años este concepto ha tenido

un gran auge, debido al afán que se tiene de buscar fuentes de energía que no contaminen, que tenga las mismas ventajas de las actuales, pero que no destruya el medio ambiente. En conclusión, energía limpia, con cero producciones de desechos, alta eficiencia, bajos costos de producción y sin ningún riesgo.

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. En el presente estudio se abordarán temas como Eficiencia Energética y dispositivos Eléctricos y Electrónicos Eficientes, Energía Solar y Sistemas que permitan convertirla en Energía Eléctrica, terminando con la conexión de un de un Sistema de Iluminación Alimentado por Paneles FV, utilizando luminarias LED, para el cual se analizará el diseño en términos técnicos y económicos la factibilidad en el Centro de Proyectos del Níquel (CEPRONIQUEL) se caracteriza por consumo de energía que promedia alrededor de 1 MWh/día, sin embargo se aprecian potencialidades para un uso más racional de la energía.

Situación Problemática

El estándar internacional exige que para las áreas exteriores de cualquier empresa, el nivel de iluminación debe satisfacer los aspectos cuantitativos y cualitativos demandados por el entorno, a garantizar la: comodidad, ejecución y seguridad visual. El alumbrado actual del edificio administrativo de la empresa CEPRONIQUEL no garantiza el 100 % de la iluminación necesaria, provocando afectación a la salud, seguridad y efectividad laboral de los trabajadores en horario nocturno, además provoca un mayor gasto por avería y mantenimiento.

Problema.

Desconocimiento del consumo de energía eléctrica por concepto de iluminación, con lámparas ineficientes en la empresa de proyectos del níquel de Moa.

Hipótesis

Si se implementa un sistema de iluminación de exteriores con tecnología LED, alimentado con energía solar, se disminuye el consumo de energía eléctrica en la empresa de proyectos del níquel de Moa y se mejoraría la eficiencia energética en la empresa.

Objeto de estudio

Empresa de proyectos del níquel.

Campo de acción

Sistema de Alumbrado.

Objetivo general

Diseñar y proponer un sistema de iluminación exterior con tecnología LED alimentado con energía solar para áreas públicas.

Objetivos específicos

1. Diagnosticar la situación del servicio actual del sistema de alumbrado de exteriores en la empresa de proyectos del níquel de Moa.
2. Proponer y evaluar del módulo fotovoltaico.
3. Analizar la variante económica.

Metodología del Trabajo

Para la realización del trabajo se toma la información registrada en la empresa CEPRONIQUEL. Se utilizan los métodos siguientes:

El método histórico-lógico en el análisis de los softwares empleados en el país para el cálculo de sistemas de iluminación para exteriores. El método de análisis y síntesis al procesar la información obtenida, planos impresos y propuestas digitales, así como la experiencia de los expertos en el tema.

Métodos empíricos como:

Métodos estadísticos, observación directa en el terreno, consulta con especialistas del área y análisis de documentos para la recopilación de información. Procesamiento y análisis de la información: Para garantizar el análisis de la información generada por la investigación.

CAPÍTULO 1. MARCO TEÓRICO-CONCEPTUAL

Fundamento Teórico

1.1 Introducción

En este capítulo se exponen los elementos teóricos, a partir del planteamiento del problema, el cual muestra 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 investigación de nuevas variantes que contribuyan al mejoramiento de los sistemas de iluminación pública con el objetivo de elevar los índices de eficiencia y ahorro energético.

1.2 Estado del Arte

La eficiencia energética involucra, entre otros, dos conceptos importantes: la tecnología de toda una gama de luminarias y el desarrollo de mejores reflectores ópticos, difusores y demás materiales con los que se busca elevar la calidad en la iluminación.

Para un mejor entendimiento de este trabajo es necesario mencionar algunos trabajos realizados anteriormente 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 realizado 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 epígrafe se pretende analizar la evolución de las lámparas, luminarias exteriores y los tratamientos dados por diferentes especialistas y empresas encargadas en la producción y comercialización. 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, simulaciones y grabaciones, como instrumentos de recolección de datos, cuyos resultados mostraron 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

fuentes 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 externa de la empresa, 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 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

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].

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, representado con la letra griega, se refiere a la potencia lumínica emitida por la fuente de luz. En otras palabras, es la medida de la porción de energía que emite la fuente por unidad de tiempo, a la cual el ojo humano es sensible.

A pesar de que hablamos de potencia emitida, el flujo luminoso no utiliza el Vatio como unidad, porque la potencia emitida medida en Vatios toma en cuenta la energía emitida en todas sus formas. Por esto se crea una unidad que tome como referencia sólo la energía lumínica emitida por unidad de tiempo, el Lumen [lm].

"Empíricamente se demuestra que a una radiación de 555nm de 1W de potencia emitida por un cuerpo negro le corresponden 683 lm."[4]

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 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.

✓ **Lámpara**

Una lámpara es un elemento capaz de transformar energía eléctrica en radiación electromagnética visible (luz). [8]. Esta transformación se puede lograr utilizando algunos de los dos fenómenos mencionados anteriormente, Incandescencia o Luminiscencia.

✓ **Eficiencia**

La eficiencia es la cantidad de lúmenes o potencia lumínica, que la lámpara emite por cada volt de potencia que se le suministra, por consiguiente se mide lm/W.

Posibilidad de reencendido inmediato.

Se entiende por reencendido la capacidad de encender una lámpara inmediatamente después de que ha sido apagada, emitiendo su máximo flujo luminoso. Las únicas lámparas que cumplen con esta condición son las incandescentes, el resto requieren un tiempo de reencendido.

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.

1.6 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.

1.6.1 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 1.1.

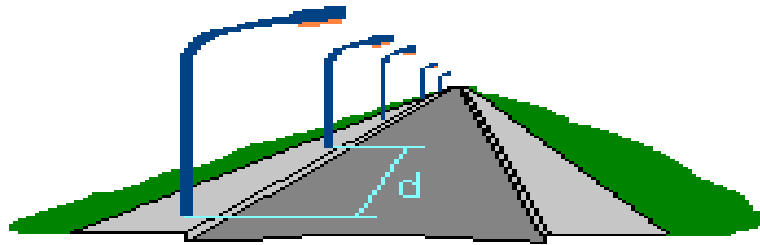


Figura 1.1 Distancia en la vía.

El proceso a seguir se puede explicar mediante el siguiente diagrama de bloques. Ver Figura 1.2.

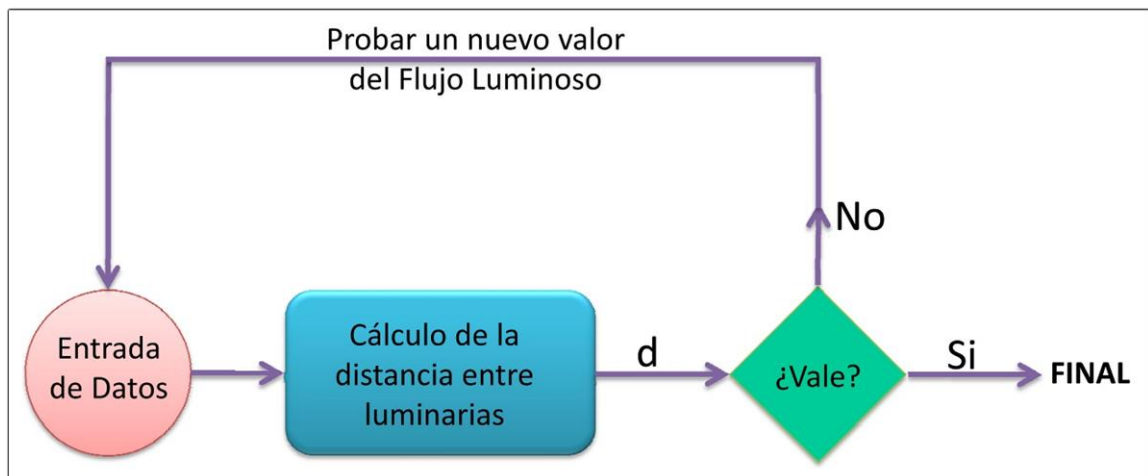


Figura 1.2 Diagrama de bloques.

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 1.1

Tabla1.1 Tipos de vía e Iluminación

Tipo de vía	Iluminancia media (lx)	Luminancia media (cd/m2)
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 1.2.

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 Tabla 1.3.

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).

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 , γ_2 en el lado calzada y acera respectivamente. Ver Figura1.3.

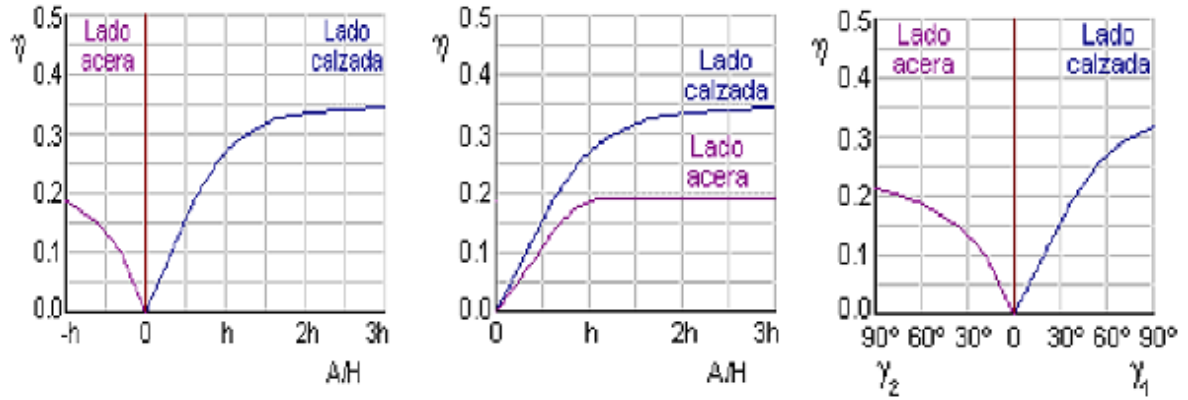


Figura1.3 Curvas del factor de utilización.

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. 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 1.4 y ecuaciones (1.2) y (1.3)).

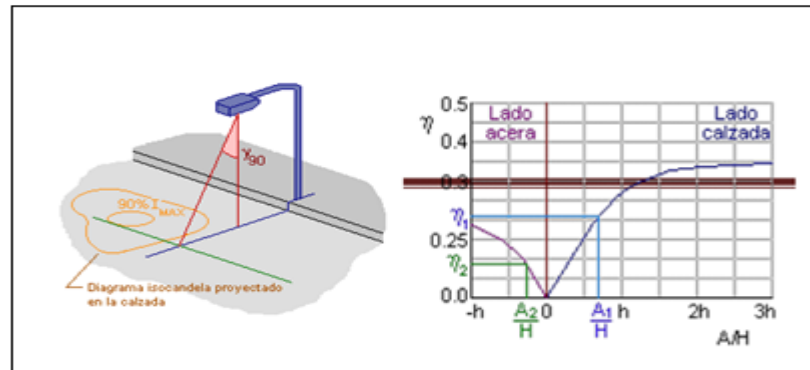


Figura1.4 Factor de utilización.

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

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

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. Ver Tabla 1.5.

Tabla 1.5 Relación entre separación, altura y luminancia media.

E_m (lux)	separación/ altura
$2 \leq E_m < 7$	$5 \leq d/h < 4$
$7 \leq E_m < 15$	$4 \leq d/h < 3.5$
$15 \leq E_m \leq 30$	$3.5 \leq d/h < 2$

1.6.2 Método de los nueve puntos

Este plantea que en un tramo de vía recta con disposición unilateral de las luminarias y separadas una distancia d . Debido a las simetrías existentes en la vía, bastará con calcular las iluminancias en la zona señalada. En el resto de la calzada estos valores se irán repitiendo periódicamente dividiendo el tramo en nueve dominios con otros tantos puntos. 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.

Para calcular las iluminancias se puede proceder de dos maneras, ya sea usando la ecuación (1.5):

$$E_H = \frac{I(C_i \gamma_i)}{h_i^2} \cos^3 \gamma_i \quad (1.5)$$

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

O recurriendo a un método gráfico. En el cual los valores de las iluminancias se obtienen por lectura directa de las curvas isolux y se necesita lo siguiente:

- ✓ Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)
- ✓ La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.
- ✓ Una tabla para apuntar los valores leídos.

El procedimiento de cálculo se basa en situar los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada sobre el plano de la planta. Ver ANEXO I.

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 poco confiables y poco fiables debido a que es muy fácil equivocarse durante su empleo.

1.7 Principales tipos de lámparas

En el mercado actual podemos encontrar varios tipos de tecnologías lámparas, las cuales de acuerdo a sus características pueden resultar más útiles para una aplicación que para otra. A continuación se describen las más útiles.

➤ Lámparas halógenas de alta y baja tensión

En las lámparas incandescentes normales, con el paso del tiempo, se produce una disminución significativa del flujo luminoso. Esto se debe, en parte, al ennegrecimiento de la ampolla por culpa de la evaporación de partículas de wolframio del filamento y su posterior condensación sobre la ampolla. Agregando una pequeña cantidad de un compuesto gaseoso con halógenos (cloro, bromo o yodo), normalmente se usa el CH_2Br_2 , al gas de relleno se consigue establecer un ciclo de regeneración del halógeno que evita el ennegrecimiento. Cuando el tungsteno (W) se evapora se une al bromo formando

el bromuro de wolframio (WBr_2). Como las paredes de la ampolla están muy calientes (más de 260°C) no se deposita sobre estas y permanece en estado gaseoso. Cuando el bromuro de wolframio entra en contacto con el filamento, que está muy caliente, se descompone en W que se deposita sobre el filamento y Br que pasa al gas de relleno. Y así, el ciclo vuelve a empezar.

El funcionamiento de este tipo de lámparas requiere de temperaturas muy altas para que pueda realizarse el ciclo del halógeno. Por eso, son más pequeñas y compactas que las lámparas normales y la ampolla se fabrica con un cristal especial de cuarzo que impide manipularla con los dedos para evitar su deterioro.

Tienen una eficacia luminosa de 22 lm/W con una amplia gama de potencias de trabajo (150 a 2000W) según el uso al que estén destinadas. Ver Figura 1.5.



Figura 1.5 Ejemplo de lámparas halógenas

➤ De Descarga

Las lámparas de descarga son fuentes luminosas que producen luz mediante una descarga eléctrica en gases o vapores metálicos presentes en el interior de la ampolla.

Para encender las lámparas de descarga se requiere de un dispositivo llamado reactancia o balasto, que produce el encendido con un alto voltaje inicial y luego disminuye la energía eléctrica al nivel operativo normal. Los balastos electromagnéticos son los tradicionales de filamentos de cobre, que ya están siendo reemplazados por balastos electrónicos.

Las lámparas de descarga se pueden clasificar según el gas utilizado (vapor de mercurio o sodio) o la presión a la que este se encuentre (alta o baja presión). Las propiedades varían mucho de unas a otras y esto las hace adecuadas para unos usos u otros.

- Lámparas de vapor de mercurio
- Baja presión

- Lámparas fluorescentes

➤ **Lámparas fluorescente**

Las fluorescentes son lámparas de descarga de baja presión en forma de tubo, rellenas en su interior de vapor de mercurio. A través de la descarga eléctrica, se emite una radiación UV invisible que se convierte en luz gracias al polvo fluorescente. La radiación ultravioleta generada por la descarga de mercurio se convierte en luz visible por los fluorescentes que se encuentran en la pared interior del depósito de descarga. Mediante distintos fluorescentes se consiguen una serie de colores de luz y distintas calidades de reproducción cromática.

La lámpara fluorescente posee generalmente electrodos calentados y puede así encenderse con tensiones en comparación bajas. Las lámparas fluorescentes requieren de balastos, reactancias o reactancias electrónicas.

Ventajas:

- Consumo de corriente hasta tres veces menor que la de una lámpara incandescente.
- Los colores son más fieles al color real.
- La emisión de luz es de 4 a 6 veces mayor que la de una lámpara incandescente de la misma potencia.
- Provee una luz más uniforme y menos deslumbrante, porque el área de iluminación es mayor.
- Calentamiento reducido.
- Duración promedio de vida es de 7500 horas en condiciones normales.

La lámpara fluorescente está compuesta de un tubo de vidrio que está revestido por su parte interior con una sustancia fluorescente. Dentro del tubo hay gases y vapor de mercurio a baja presión. Este tubo tiene, en sus dos extremos, un filamento y un electrodo sensor. Ver Figura 1.6.



Figura 1.6. Ejemplos de lámparas fluorescentes.

Existen lámparas fluorescentes en diversos formatos: tubulares, circulares y en forma de "U", así como lámparas fluorescentes compactas.

Las lámparas fluorescentes compactas que por la combinación de varios depósitos de descarga cortos o de un depósito de descarga doblado alcanzan dimensiones especialmente compactas. Las lámparas fluorescentes compactas se sujetan y conectan en el portalámparas de un solo lado.

Las fluorescentes son lámparas de descarga de baja presión en forma de tubo, rellenas en su interior de vapor de mercurio. A través de la descarga eléctrica, se emite una radiación UV invisible que se convierte en luz gracias al polvo fluorescente. La radiación ultravioleta generada por la descarga de mercurio se convierte en luz visible por los fluorescentes que se encuentran en la pared interior del depósito de descarga. Mediante distintos fluorescentes se consiguen una serie de colores de luz y distintas calidades de reproducción cromática.

La lámpara fluorescente posee generalmente electrodos calentados y puede así encenderse con tensiones en comparación bajas. Las lámparas fluorescentes requieren de balastos, reactancias o reactancias electrónicas.

➤ Lámparas con halógenos metálicos

Si se añade en el tubo de descarga yoduros metálicos (sodio, talio, indio...) se consigue mejorar considerablemente la capacidad de reproducir el color de la lámpara de vapor de mercurio. Cada una de estas sustancias aporta nuevas líneas al espectro (por ejemplo amarillo el sodio, verde el talio y rojo y azul el indio).

Los resultados de estas aportaciones son una temperatura de color de 3000 a 6000 K dependiendo de los yoduros añadidos y un rendimiento del color de entre 65 y 85. La eficiencia de estas lámparas ronda entre los 60 y 96 lm/W y su vida media es de unas 10000 horas. Tienen un periodo de encendido de unos diez minutos, que es el tiempo necesario hasta que se estabiliza la descarga. Para su funcionamiento es necesario un dispositivo especial de encendido, puesto que las tensiones de arranque son muy elevadas (1500-5000 V). Ver Figura 1.7.

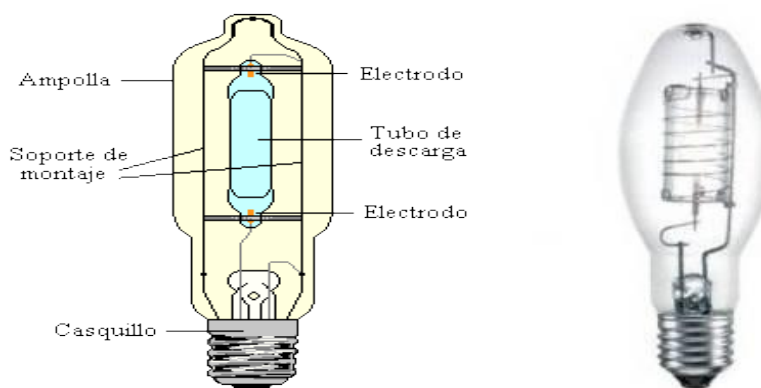


Figura 1.7 Lámpara con halógenos metálicos

Las excelentes prestaciones cromáticas la hacen adecuada entre otras para la iluminación de instalaciones deportivas, para retransmisiones de TV, estudios de cine, proyectores, etc.

- Lámparas de vapor de sodio.
- 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.

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.

➤ **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 ($T_{\text{color}} = 2100 \text{ K}$) y capacidad para reproducir los colores mucho mejores que la de las lámparas a baja presión ($\text{IRC} = 25$, 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.

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

Las condiciones de funcionamiento son muy exigentes debido a las altas temperaturas ($1000 \text{ }^{\circ}\text{C}$), la presión y las agresiones químicas producidas por el sodio que debe soportar el tubo de descarga. En su interior hay una mezcla de sodio, vapor de mercurio que actúa como amortiguador de la descarga y xenón que sirve para facilitar el arranque y reducir las pérdidas térmicas. El tubo está rodeado por una ampolla en la que se ha hecho el vacío. La tensión de encendido de estas lámparas es muy elevada y su tiempo de arranque es muy breve. Este tipo de lámparas tienen muchos usos posibles tanto en iluminación de interiores como de exteriores. Algunos ejemplos son en iluminación de naves industriales, alumbrado público o iluminación decorativa. Ver Figura 1.8.



Figura 1.8 Componentes y lámpara de vapor de sodio a alta presión

Diodo Emisor de Luz (LED)

El LED es un diodo emisor de luz, es decir, un dispositivo semiconductor que emite luz cuando circula por la corriente eléctrica; es un proyector electroluminiscente que emite luz mediante la recombinación de los pares de portadores de carga de un semiconductor.

LED proviene de las siglas en inglés Light Emitting Diode: Diodo Emisor de Luz. La luz no se genera a través de un filamento incandescente sino por electroluminiscencia. Esto significa que se liberan fotones (luz) debido a electrones que cambian de nivel de energía durante su desplazamiento por el material semiconductor (diodo). Ver Figura 1.9.



Figura 1.9 Diodos emisores de luz (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.

Ventajas:

- Elevada resistencia física: elementos 100% sólidos, resisten golpes y vibraciones mucho mejor que lámparas convencionales.
- Mayor duración, por no depender de que el filamento se queme.
- Elevada eficiencia de conversión de la electricidad entrante hacia la energía luminosa: mientras el rendimiento energético de una bombilla de tungsteno es del 10%, los diodos LED aprovechan hasta el 90%.
- Con el equivalente a una bombilla de tungsteno se pueden construir aproximadamente 10 LEDs.
- Si algún LED se rompe es posible reemplazarlo.
- Baratos y fáciles de fabricar.
- Larga vida útil: Hasta 100.000 horas de vida útil comparado con 8000 horas de una lámpara convencional.
- Pueden emitir hasta 16 millones de colores distintos.
- No emiten radiaciones infrarrojas y/ o ultravioletas. Muy importante para la iluminación de obras de arte, donde habitualmente la radiación deteriora el objeto a iluminar.

- No explotan.
- No contaminan ni poseen elementos contaminantes.
- No emiten calor, por lo que son muy adecuados iluminar objetos inflamables y ahorrar energía necesaria para regular la temperatura ambiental.
- Resisten bien las variaciones en temperatura por lo cual son adecuados para iluminación de exteriores.
- Reducido tamaño: pocos milímetros cúbicos.
- Elevado tiempo de respuesta: su velocidad de transmisión permite utilizarlos en los displays alfanuméricos o en aplicaciones de telecomunicación por aire o por fibra óptica.
- Funcionan con corriente continua, por lo que se reducen los riesgos de manipulación y electrocución por descuido.
- Muy adecuado para aplicaciones en zonas con elevada afluencia de público: centros comerciales, discotecas, teatros, discotecas, etc.

1.8 Ventajas de la energía solar.

La energía solar es una de las alternativas energéticas más importantes en la actualidad, esta ofrece una serie de ventajas tales como:

- Utiliza recursos naturales inagotables: la luz del sol.
- Es una energía limpia que no genera emisiones de gases contaminantes ni otro tipo de residuos.
- Es una solución ideal para disponer de electricidad en zonas aisladas.
- Es la única energía renovable que puede instalarse a gran escala dentro de las zonas urbanas.
- En el caso de instalaciones conectadas a la red, hay subvenciones públicas y primas a la producción.
- Los paneles y la estructura de soporte pueden desmontarse al final de la vida útil, pudiendo reutilizarse.

1.9 Desventajas de la energía solar.

Entre los inconvenientes no comparables con los de las fuentes de energías convencionales y más bien propias de las instalaciones y parques solares, se encuentran:

- El impacto visual de los parques solares, que suelen ocupar grandes superficies de captación.
- Sólo se produce energía mientras hay luz y depende del grado de insolación.
- El costo de las instalaciones es elevado, sobre todo si se compara con otro tipo de instalaciones que generen la misma potencia.
- El periodo de amortización de la inversión es largo, de unos diez años.
- El rendimiento es bastante bajo, debido a la baja eficiencia de las células solares, en muchos casos inferior al 40%.

1.10 El panel solar fotovoltaico

Un panel solar o módulo fotovoltaico está formado por un conjunto de células, conectadas eléctricamente, encapsuladas, y montadas sobre una estructura de soporte o marco. Proporciona en su salida de conexión una tensión continua, y se diseña para valores concretos de tensión (6 V, 12 V, 24 V.), que definirán la tensión a la que va a trabajar el sistema fotovoltaico.

En la Fig1.10 se destacan las principales características de todo panel solar y puede verse un esquema típico de su construcción.

Los tipos de paneles solares vienen dados por la tecnología de fabricación de las células, y son fundamentalmente:

- Silicio cristalino (monocristalino y multicristalino).
- Silicio amorfo.

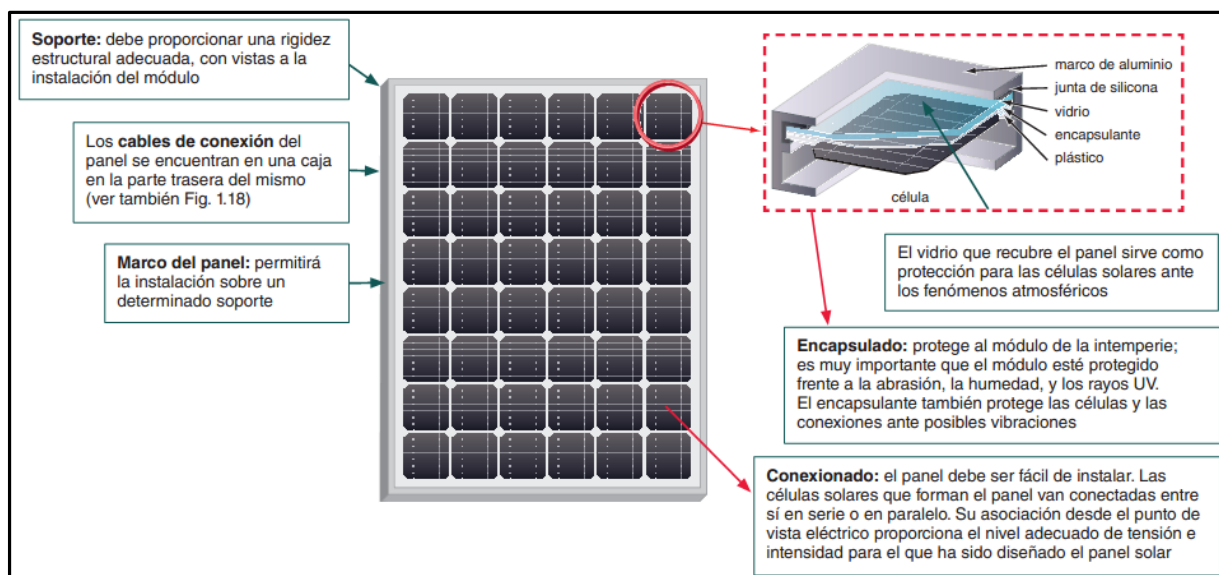


Figura 1.10 Constitución de un panel solar. Se destacan sus principales Características: Fuente (Anónimo, 2010 b).

Tabla 1.6 Diferencias entre los paneles según la tecnología de fabricación.

Células	Silicio	Rendimiento laboratorio	Rendimiento directo	Características	Fabricación
	Monocristalino	24 %	15 - 18 %	Son típicos los azules homogéneos y la conexión de las células individuales entre sí (Czochralski).	Se obtiene de silicio puro fundido y dopado con boro.
	Policristalino	19 - 20 %	12 - 14 %	La superficie está estructurada en cristales y contiene distintos tonos azules.	Igual que el del monocristalino, pero se disminuye el número de fases de cristalización.
	Amorfo	16 %	< 10 %	Tiene un color homogéneo (marrón), pero no existe conexión visible entre las células.	Tiene la ventaja de depositarse en forma de lámina delgada y sobre un sustrato como vidrio o plástico.

Potencia que proporciona una célula de tamaño estándar (Suponiendo que es de 10 X 10 cm) es muy pequeña (en torno a 1 o 2 W), por lo que generalmente será necesario tener que asociar varias de ellas con el fin de proporcionar la potencia necesaria al sistema fotovoltaico de la instalación. Es de este hecho de donde surge el concepto de panel solar o módulo fotovoltaico, cuyos elementos y características se acaba de ver.)

Los lingotes cristalinos se cortan en discos finos como una oblea, pulidos para eliminar posibles daños causados por el corte. Se introducen dopantes impurezas añadidas para modificar las propiedades conductoras en las obleas, y se depositan conductores metálicos en cada superficie: una fina rejilla en el lado donde da la luz solar y usualmente una hoja plana en el otro. Los paneles

solares se construyen con estas celdas agrupadas en forma apropiada. Para protegerlos de daños, causados por radiación o por el manejo de éstos, en la superficie frontal se los cubre con una cubierta de vidrio y se pegan sobre un sustrato el cual puede ser un panel rígido o una manta blanda. Se hacen conexiones eléctricas en serie-paralelo para fijar el voltaje total de salida. El pegamento y el sustrato deben ser conductores térmicos, ya que las celdas se calientan al absorber la energía infrarroja que no se convierte en electricidad. Debido a que el calentamiento de las celdas reduce la eficacia de operación es deseable minimizarlo. Los ensamblajes resultantes se llaman paneles solares.

El regulador

Para un correcto funcionamiento de la instalación, hay que instalar un sistema de regulación de carga en la unión entre los paneles solares y las baterías. Este elemento recibe el nombre de regulador y tiene como misión evitar situaciones de carga y sobre descarga de la batería, con el fin de alargar su vida útil.

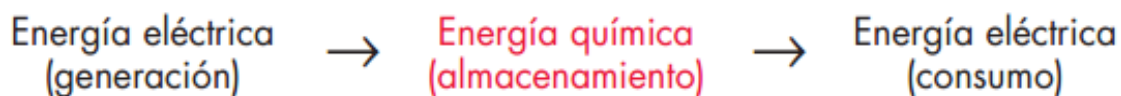
El regulador trabaja por tanto en las dos zonas. En la parte relacionada con la carga, su misión es la de garantizar una carga suficiente al acumulador y evitar las situaciones de sobrecarga, y en la parte de descarga se ocupará de asegurar el suministro eléctrico diario suficiente y evitar la descarga excesiva de la batería. Dado que los módulos solares tienen una tensión nominal mayor que la de la batería, si no existiera regulador se podrían producir sobrecargas.

Acumuladores. Tipos de baterías

La llegada de la energía solar a los módulos fotovoltaicos no se produce de manera uniforme, sino que presenta variaciones por diferentes motivos. Algunas de estas variaciones son predecibles, como la duración de la noche o las estaciones del año, pero existen otras muchas causas que pueden producir alteraciones de manera aleatoria en la energía recibida, como puede ocurrir con un aumento de la nubosidad en un determinado instante.

Este hecho hace necesario utilizar algún sistema de almacenamiento de energía para aquellos momentos en que la radiación recibida sobre el generador fotovoltaico no sea capaz de hacer que la instalación funcione en los valores diseñados. Para ello se utilizarán las baterías o acumuladores.

Las baterías son dispositivos capaces de transformar la energía química en eléctrica.



Las baterías son recargadas desde la electricidad producida por los paneles solares, a través de un regulador de carga, y pueden entregar su energía a la salida de la instalación, donde será consumida.

Tipos de baterías

Las baterías se clasifican en función de la tecnología de fabricación y de los electrolitos utilizados. En la Tabla 1.6 se pueden comparar los principales tipos de baterías que hay en el mercado, a través de sus características básicas.

Tabla1.7 Características de los principales tipos de baterías

Tipo de baterías	Tensión por vaso (V)	Tiempo de recarga	Auto descarga por mes	No. De ciclos	Capacidad por tamaño	Precio
Plomo-acido	2	8-16 horas	<5%	Medio	30-50 Wh/Kg	Bajo
Ni-Cd(Níquel-cadmio)	1.2	1 hora	20%	Elevado	50-80 Wh/Kg	Medio
Ni-Mh (Níquel-metal hydride)	1.2	2-4 horas	20%	Medio	60-120 Wh/Kg	Medio
Li ion (Líon-litio)	3.6	2-4 horas	6%	Medio-bajo	110-160 Wh/Kg	Alto

Las baterías más utilizadas en las instalaciones solares son las de plomo ácido, por las características que presentan. Dentro de este tipo de baterías se pueden encontrar diferentes modelos. Ahora se comparan y analizan para seleccionar cual es el más adecuado.

El inversor

El inversor se encarga de convertir la corriente continua de la instalación en corriente alterna, igual a la utilizada en la red eléctrica.

Es un elemento imprescindible en las instalaciones conectadas a red, y estará presente en la mayoría de instalaciones autónomas, sobre todo en aquellas destinadas a la electrificación de viviendas o partes de edificaciones.

Las características deseables para un inversor DC-AC se pueden resumir de la siguiente manera:

- Alta eficiencia: debe funcionar bien para un amplio rango de potencias.
- Bajo consumo en vacío: es decir, cuando no hay cargas conectadas.
- Alta fiabilidad: resistencia a los picos de arranque.
- Protección contra cortocircuitos.
- Seguridad.
- Buena regulación de la tensión y frecuencia de salida, que como ya se ha comentado debe ser compatible con la red eléctrica.

La misión del inversor en las instalaciones autónomas es proporcionar una corriente alterna como la de la red eléctrica, con el fin de que se puedan conectar a los mismos electrodomésticos de los utilizados habitualmente en las viviendas. En este caso, las variaciones que pueda sufrir la corriente no tienen la importancia que en el caso de los inversores de las instalaciones conectadas a la red.

El funcionamiento El software a utilizar en el presente trabajo es el **TROLL 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.

1.11 Conclusiones Parciales.

- 1 Se brinda al interesado en el trabajo una introducción general sobre el tema que se pretende estudiar, logrando de esta manera un enfoque demostrativo y generalizado acerca del objetivo a desarrollar.
- 2 Se han expuesto los principales aspectos relacionados a, características, definiciones y métodos de cálculo existentes en el alumbrado exterior.
- 3 Se han expuesto las principales características de los paneles solares como parte fundamental de la alimentación del sistema de iluminación de exteriores.

CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Introducción

Este capítulo tiene como objetivo principal caracterizar el alumbrado exterior actual instalado en la Empresa CEPRONIQUEL, así como determinar los problemas que influyen en el mismo. Este análisis partirá de las mediciones realizadas en el sistema instalado basado en el empleo de las lámparas de vapor de sodio de alta presión. Se propondrán nuevas medidas en busca de alternativa que de alguna manera tributen a mejorar la eficiencia del alumbrado de la empresa y la facturación de la energía eléctrica.

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

El sistema de alumbrado público en la empresa CEPRONIQUEL está diseñado para iluminar un área de 740 metros. Formado por 20 lámparas de sodio de alta presión, 16 de 250 W y 2 de 400 instaladas en postes de 9 metros de altura y a una distancia de 35 metros entre estas, 10 incandescentes de 20 W, estas últimas para uso decorativo en toda la jardinería de la empresa. El sistema está alimentado por una red monofásica con un nivel de tensión de 220 V a una frecuencia de 60 Hz. En la empresa se han desarrollado varios proyectos que tienden a mejorar el uso racional de la energía eléctrica en los circuitos de suministro de fuerza; o sea, en los dispositivos de alto consumo. Específicamente con el sistema de climatización de la entidad, teniendo en cuenta que es un edificio administrativo esto es lo que más consume. Sin embargo se ha desechado o ignorado el mantenimiento o reposición de las luminarias que no están prestando servicio por roturas pero que siguen conectadas a la red tal vez por desconocimiento en la empresa, ya que estas luminarias aunque no tengan lámparas siguen consumiendo aunque menos, energía que en un día no es notable, pero en un mes y en un año se va convirtiendo en una cifra que se transforma en dinero a facturar sin haber aprovechado el servicio.

2.3 Características técnicas generales de las lámparas instaladas.

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 se compara el producto actual con el que se utilizaba hace treinta años, mucho sería el asombro por 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].

2.4 Principales problemas que afectan la eficiencia del sistema instalado.

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

- ✓ La falta de luminarias totales o parciales.
- ✓ Muy bajos niveles de iluminación.

Por estas dificultades planteadas se puede afirmar que el sistema de alumbrado exterior del área de CEPRONIQUEL carece de las condiciones necesarias de iluminación para brindar seguridad en horario nocturno a la empresa.

2.5. Niveles de iluminación actuales en diferentes tramos de la vía en CEPRONIQUEL.

Para obtener los datos reales de los niveles de iluminación se realizaron mediciones con los instrumentos de medición como el luminometer o luxómetro UT382 Serie en los puntos que se determinaron en el área. Ver figura 2.1.



Figura 2.1 Luxómetro UT382

Se escogieron algunos tramos para ejemplificar la representación de los niveles de iluminación actuales, relacionando en un levantamiento físico cada una de las características de las luminarias instaladas como se observa en la siguiente tabla 2.1.

Tabla 2.1 Niveles de iluminación actuales en diferentes tramos de la vía en CEPRONIQUEL.

Nombre	Emín.(lux)	Ems.(lux)	Emáx.(lux)
Tramo 1	0	3	12
Tramo 2	0	0	0
Tramo 3	0	6	2
Tramo 4	0	10	35

Al realizar la comparación de los niveles medios de iluminación (Ems) existentes en todos los tramos de la calle que rodea la empresa, con los niveles de la tabla 2.2, se refleja con claridad la diferencia que existe. Hay que tener en cuenta que si el estudio se hubiese podido realizar para las calzadas completas, los niveles de iluminación (Emin, Ems) fueran prácticamente cero, debido a esto surge la necesidad de una mejora en el sistema de alumbrado de exteriores para lograr un aumento del nivel medio de iluminación hasta 15 lux que es lo establecido por las normas para este tipo de vías. Para este tipo de iluminación con un nivel de 5 lux cabe resaltar que puede haber interés social sobre algunas áreas y los niveles que se admitan sean superiores. Ejemplo de esto es el área de jardinería y la escalinata de la entrada principal.

Tabla 2.2 Niveles de iluminación (utilizados 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

2.6 Representación de los diferentes niveles de iluminación en simulaciones del software TROLL LITESTAR 5.S3.

Utilizando el software TROLL LITESTAR 5.S3 caracterizado en el capítulo anterior que dicho y sea de paso es uno de los más utilizados en el mundo para este fin. La representación de la simulación se puede observar en las figuras 2.2 a la 2.8, donde se puede apreciar el bajo nivel de iluminación que existe de manera general. Por lo que se hace necesario la propuesta que se desarrollará en el siguiente capítulo.

En la simulación siguiente se representa un tramo de la vía con falta de luminaria en dos de los postes desde la vista superior donde solo un auto está a la vista por la falta de iluminación. Ver figura 2.2.

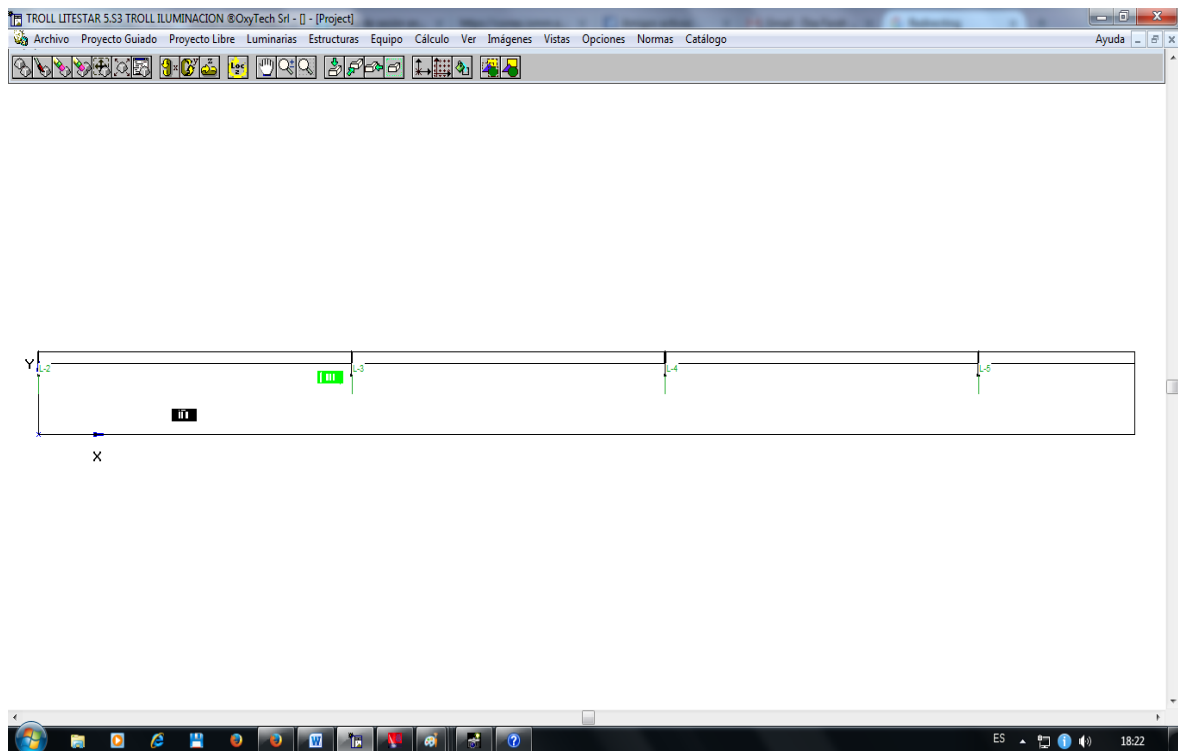


Figura 2.2 Vista superior de un primer tramo con autos.

Datos que se le incorporan como por ejemplo la altura de la luminaria, Interdistancia, longitud del brazo, anchura de la acera, tipo de distribución, tipo de calzada, entre otros parámetros . Ver figura 2.3.

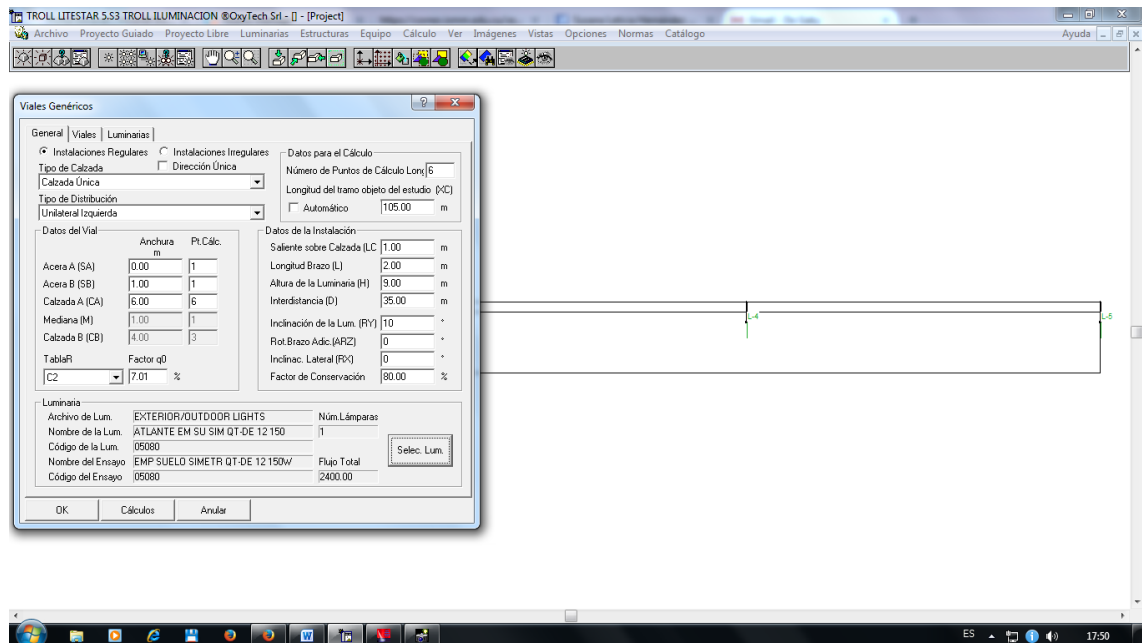


Figura 2.3 Vista del software utilizado

Demostración de un tramo inicial de forma frontal, con la proyección del haz de luz, así como la vista 3D simulada en horario nocturno, sin autos y con autos, demostrado el bajo o casi nulo nivel de iluminancia. Ver figuras 2.4, 2.5, 2.6.

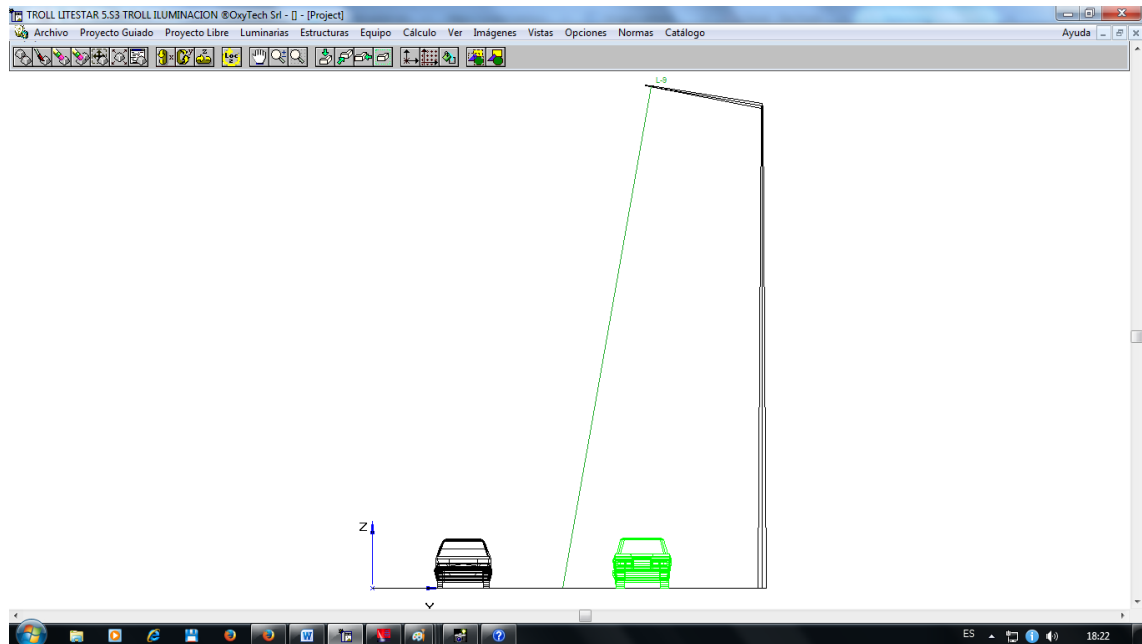


Figura.2.4 Vista frontal imagen actual

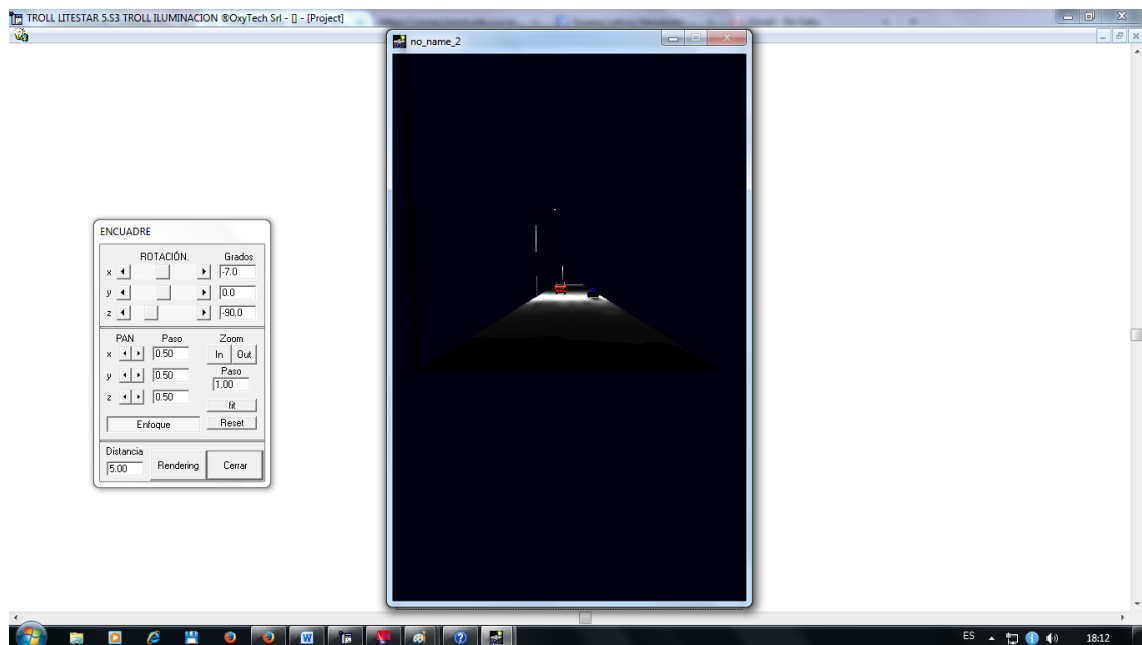


Figura 2.5 Vista actual 3D nocturna con autos

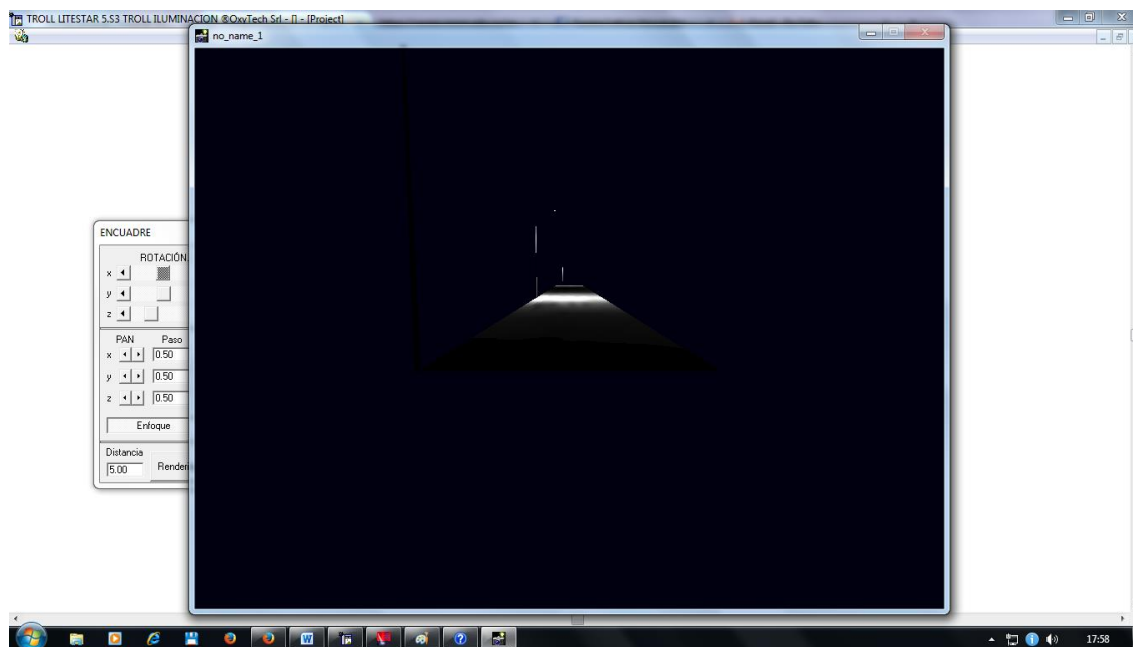


Figura. 2.6 Vista actual 3D sin autos.

En las gráficas siguientes se muestra en los diferentes ejes la proyección de la luz sobre la calzada que es mínima, y un gráfico tridimensional en lux mostrando con colores los niveles

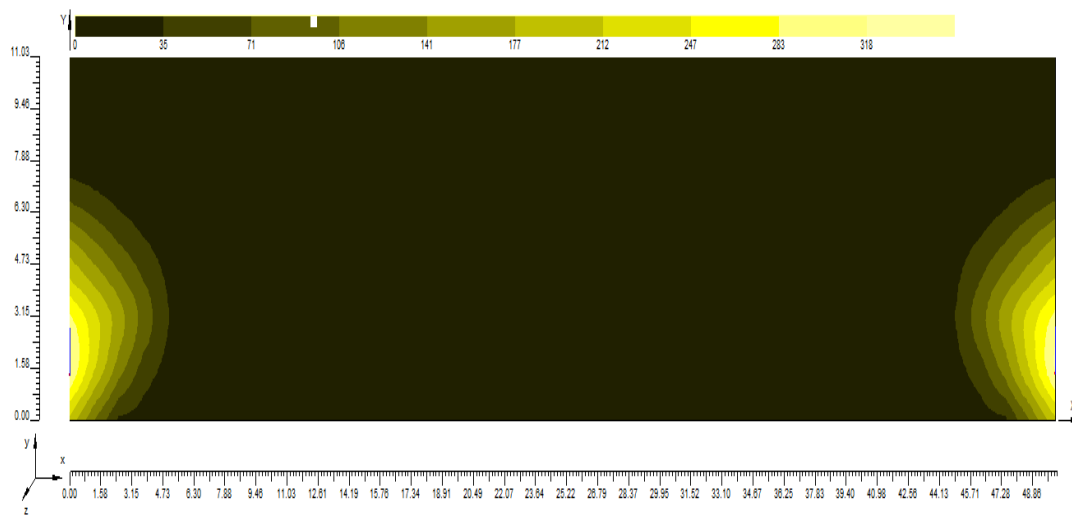


Figura .2.7 Proyección de los puntos de luz sobre la calzada

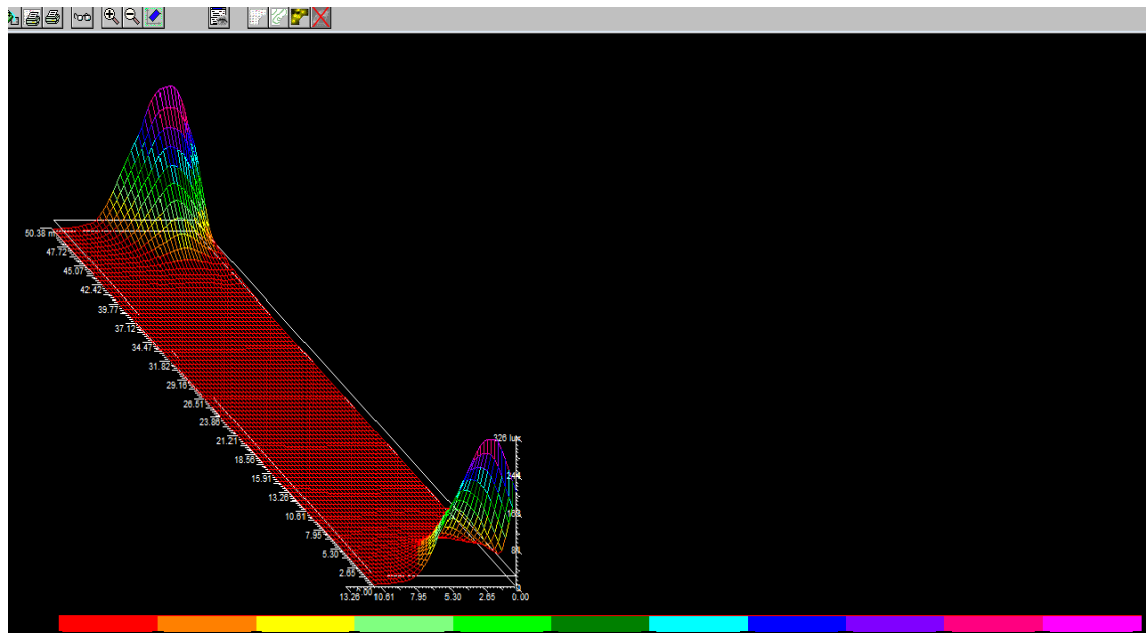


Figura .2.8 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación (lux)

2.7 Conclusiones Parciales.

- 1 Se determinaron de manera precisa y justificada las deficiencias actuales existentes en el sistema de alumbrado estudiado.
- 2 Se mostró la principal dificultad encontrada (niveles de iluminación). Obteniéndose de ahí los aspectos fundamentales a la hora de ejecutar el trabajo.
- 3 Se caracterizó el tipo de lámpara usada en la vía de la empresa para tener una idea de la magnitud del problema y poder enfocarse directamente con el objetivo a solucionar.

CAPITULO 3. ANÁLISIS DE RESULTADOS Y DISCUSIONES

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se pretende dar solución al problema existente en el sistema de alumbrado viario de la empresa CEPRONIQUEL del municipio de Moa, a través de 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 la compra de accesorios como 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 exterior de CEPRONIQUEL.

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 mayor 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.

Se precisa por ello, conocer los tipos de lámparas y luminarias que se van 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 TROLL LITESTAR 5.S3, se realizarán todas las simulaciones de la vía. Con la realización de este proyecto se garantiza el principal objetivo del alumbrado exterior, proporcionar 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.

3.3 Características de LED en cuanto a:

1. Fiabilidad

- ✓ Los LED presentan una elevada resistencia física, ya que no tienen partes móviles o frágiles. Su construcción en estado sólido, libre de filamentos, capsulas interiores, utilizados en situaciones extremas como en la iluminación de exterior de puentes y viales de alta circulación.
- ✓ Ellos son contruidos modularmente y en caso de avería de un LED, solo se apagara este solo módulo y no toda la luminaria.

- ✓ Presenta una elevada eficiencia en cuanto a la energía luminosa , ya que puede alcanzar su máxima emisión prácticamente de manera instantánea después de encendido y bajo condiciones extremas estos aprovechan hasta un 90 por ciento del rendimiento energético mientras que una bombilla de tungsteno solo el 10.
- ✓ Puedes soportar altas frecuencias de encendido y apagado sin deteriorarse o acortar tiempo de vida útil.

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 se obtiene 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 proyectos similares como el del Malecón habanero, Varadero, Santiago de Cuba, la avenida libertadores y la avenida del aeropuerto internacional de la provincia de Holguín.

En la empresa CEPRONIQUEL del municipio de Moa se cuenta con luminarias Yabao modelo YB-LLD122-80W estas presentan características elementales que permiten su instalación para lograr resultados óptimos según el objetivo de este trabajo. La misma se alimenta con un nivel de tensión que varía desde 100-270 V AC, con una potencia de solo 80 W y una temperatura de color de 5700 K. además de tener una vida útil de alrededor de 50 000 h. Estas se pueden utilizar tanto en alumbrado exterior en calles, avenidas y calzadas como en lugares decorativos. Ver Figura 3.1



Figura 3.1 Luminarias Yabao modelo YB-LLD122-80W

1. 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.

2. 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.

3. 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.

4. 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.

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

(Primer Tramo).

- Disposición de las luminarias: unilateral
- Interdistancia promedio: 35 m
- Altura del punto de luz: 9 m

En esta primera simulación con LED se puede comparar rápidamente que la iluminación es efectiva dando a la calzada una total eficiencia lumínica dando seguridad a peatones y autos .Ver figura 3.2.

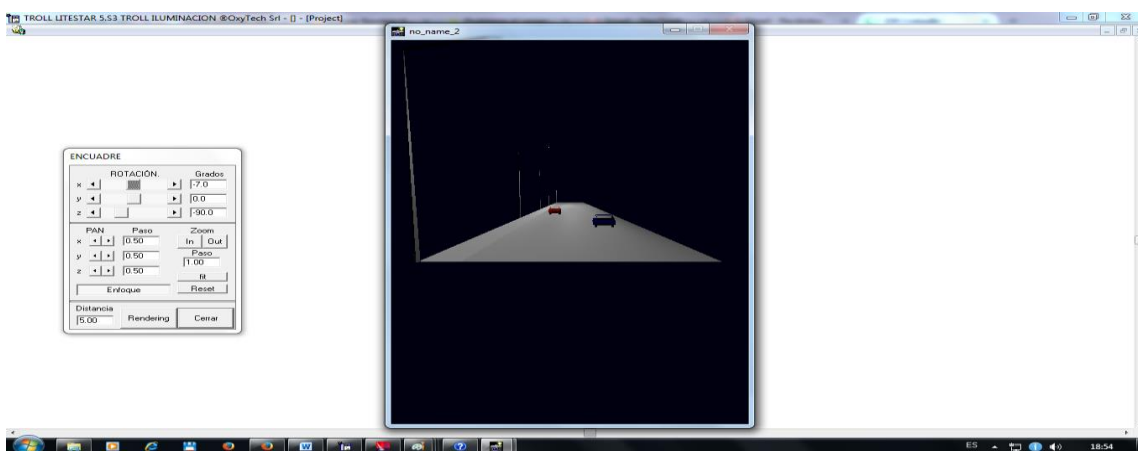


Figura 3.2 Tramo inicial con LED

La figura en 3D prueba que los niveles en colore en tonos rojos son menores que en la simulación sin LED mientras que los tonos amarillos, verdes y azules son prolongados en cada onda demostrando que esta tecnología de iluminación tiene un efecto cromático más elevado. Ver figura 3.3.

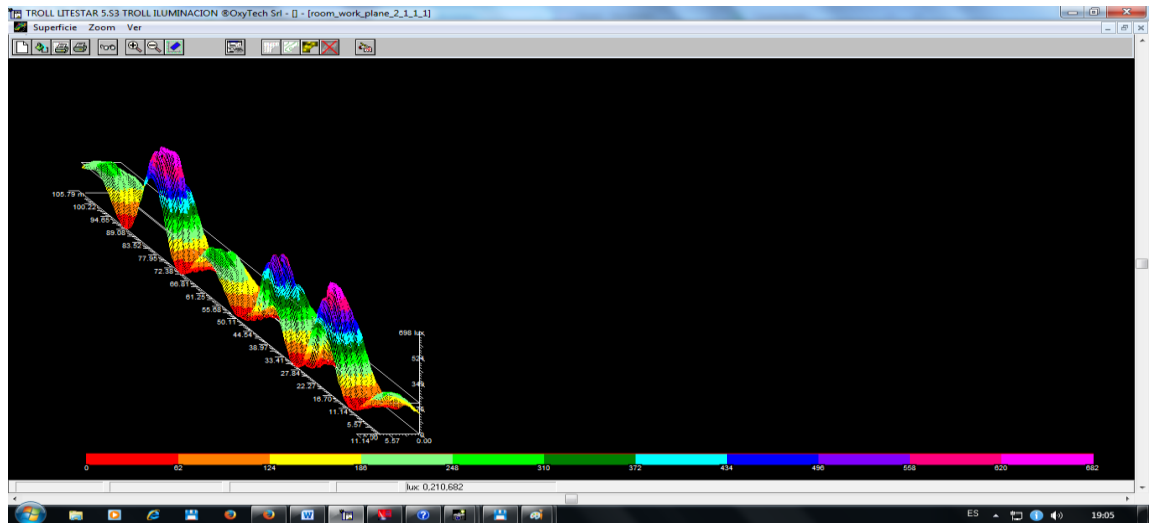


Figura 3.3 Gráfico en 3D de los niveles de iluminación (lux)

Los graficos siguientes conprueban que los puntos de luz estan mas cerca y con un flujo luminoso más brillante, la distribución de los lux uniformes. Ver figuras 3.4 y 3.5.

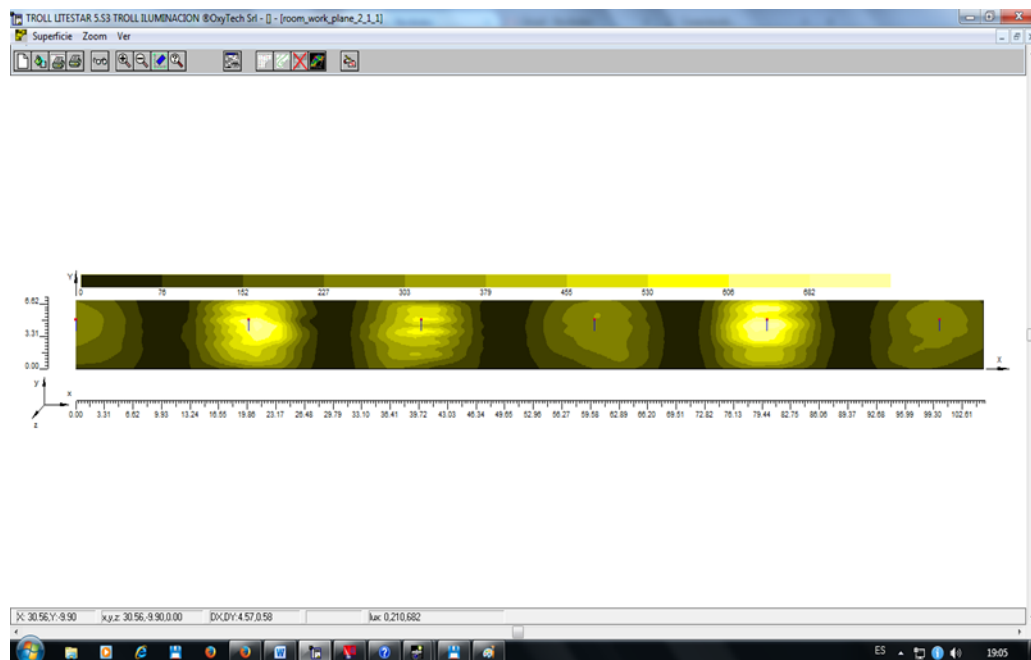


Figura 3.4 Proyección de los puntos de luz sobre la calzada

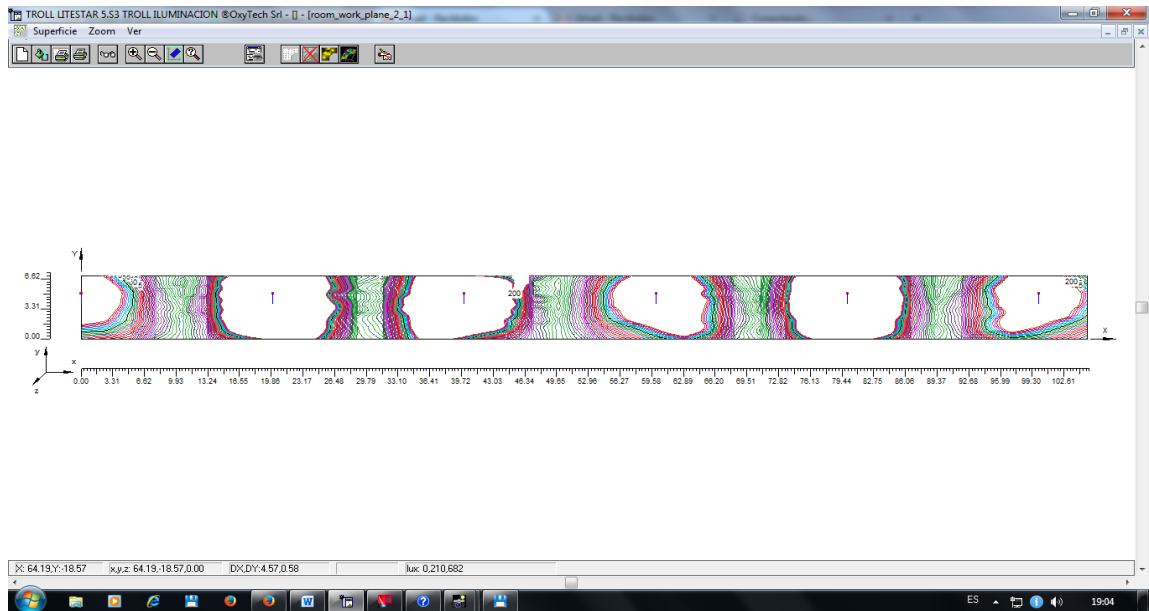


Figura 3.5 Distribución de los lux

En estas simulaciones es diferente ya que simula con LED la iluminación exterior del edificio, dado que los resultados fueron satisfactorios con respecto a la precaria iluminación que tenía, mostrando la vista frontal del edificio con el haz de luz, la de distribución de los lux, el diagrama isolux dando los máximos y mínimos de la iluminancia media. Ver figuras 3.6;3.7;3.8.

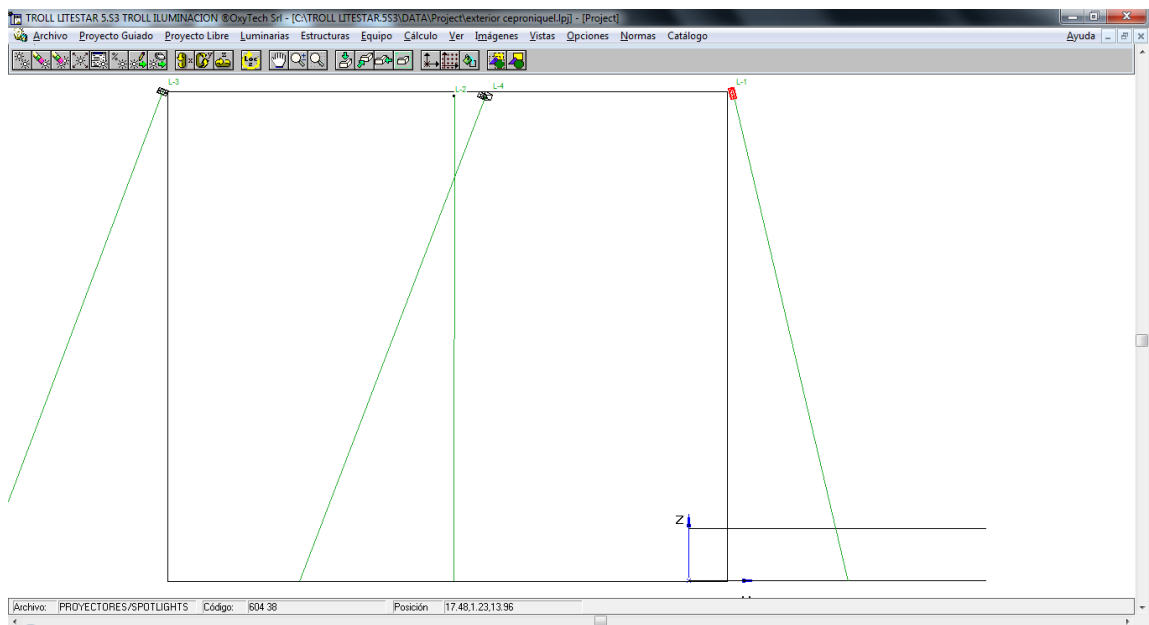


Figura 3.6 Vista frontal del edificio con la luminaria exterior en el techo con LED

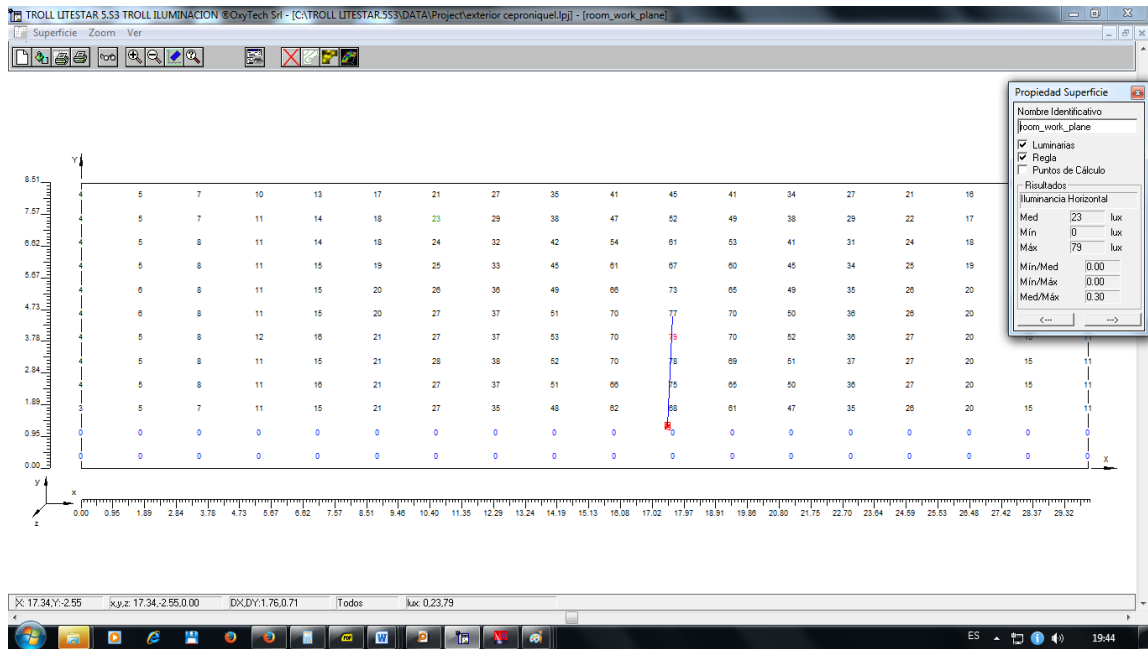


Figura 3.7 Distribución de los lux que llegan a la calzada

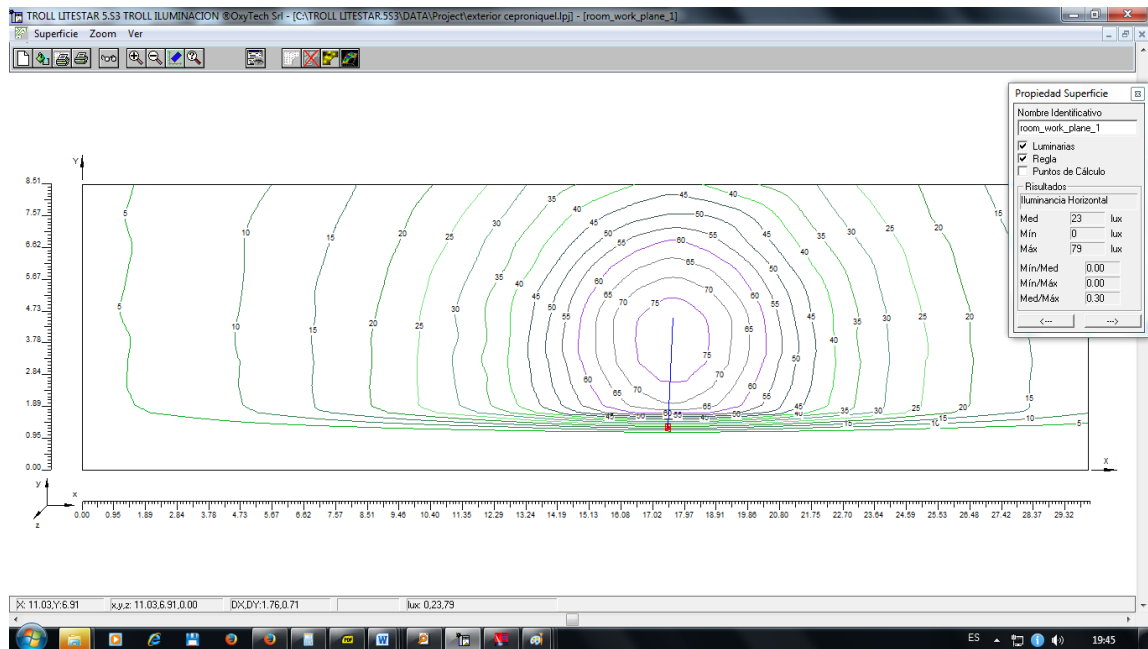


Figura 3.8 Diagrama isolux del exterior del edificio de la empresa

En las figuras 3.9 y 3.10 se muestra los puntos de luz del exterior del edificio y la otra el grafico 3D mostrando alos niveles de iluminancionalon las luminarias LED.

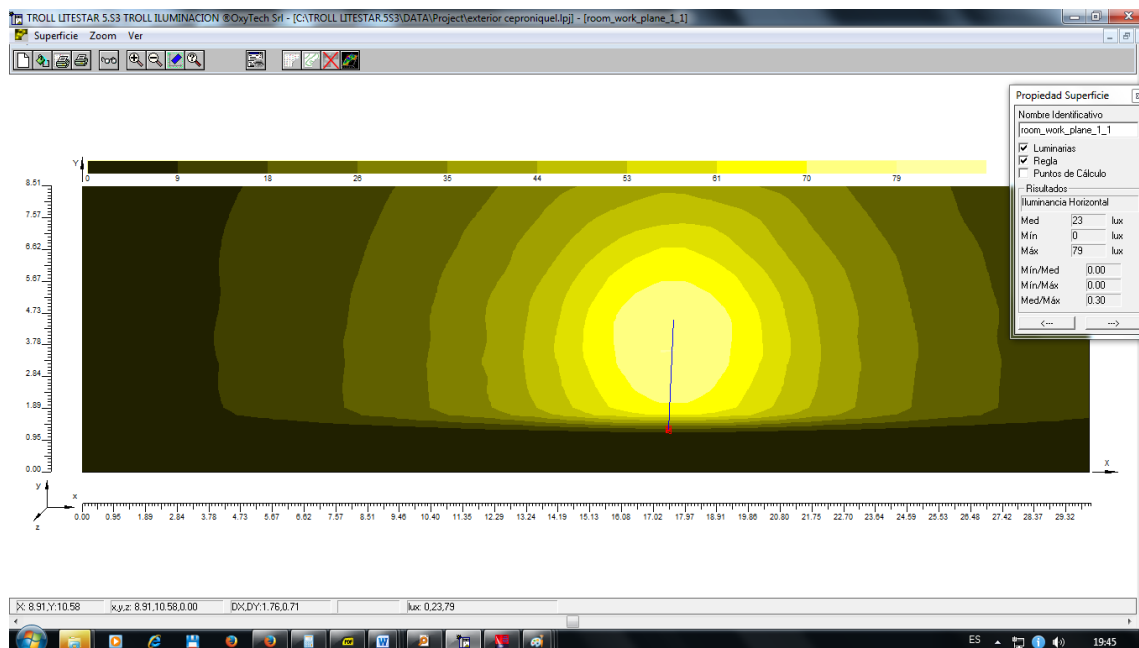


Figura 3.9 Proyección de los puntos de luz de exterior de la calzada.

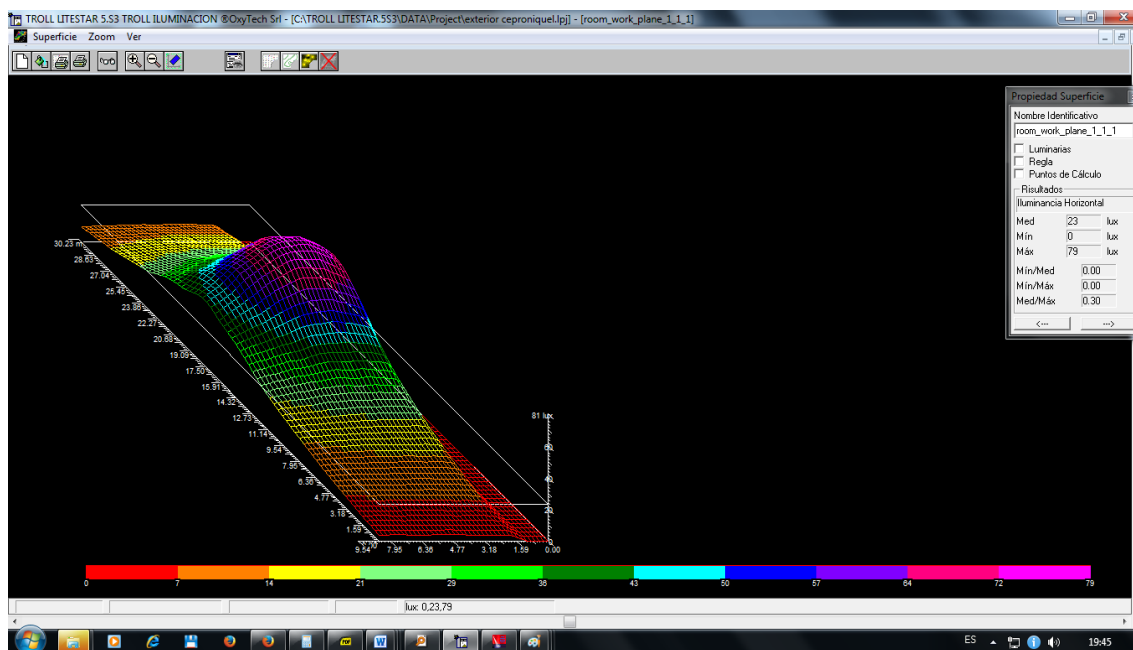


Figura 3.10 Gráfico tridimensional de los niveles de iluminación del edificio (lux).

En las figuras (3.2), (3.3), (3.4), (3.5) 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 se puede 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

3.5 Panel solar a utilizar

Las celdas fotovoltaicas son capaces de generar corriente eléctrica incluso en un día nublado en el que solo percibe la luz solar difusa , sin embargo , la condición para una óptima producción de corriente eléctrica es el captar la mayor cantidad de luz solar directa posible .

Por esto al instalar los paneles o grupos de paneles se busca orientarlos lo mejor posible hacia el sol, de modo que se aprovecha al máximo la luz directa. La mejor orientación para un panel solar ubica en el hemisferio Norte es hacia el Sur y para un panel solar ubicado en el hemisferio Sur es hacia el Norte. La orientación de un panel solar de inclinación del mismo hacia dicha orientación, el cual varía de acuerdo a la latitud en la que esté ubicado y en la época del año. La posición del Sol con respecto a la Tierra varía a lo largo del año debido a los movimientos de rotación y traslación de la misma.

Siendo la energía solar una de las energías renovables más utilizadas por su alta eficiencia y de (0) contaminación ambiental, esto la hace también costosas. En Cuba, en la provincia de Pinar del Rio existe una empresa colaboración Cuba-China en donde ensamblan y venden módulos fotovoltaicos. El modulo fotovoltaico DSM – 250 está compuesto por 60 celdas solares del formato 156 mm×156mm, conectadas en serie. En este trabajo se propone utilizar paneles fotovoltaicos de este tipo para suministrar energía eléctrica netamente para el sistema de iluminación de exteriores de la empresa y no tener que importarlos de otro país.

El arreglo de las celdas solares se encuentra encapsulado en el interior de las láminas de EVA (Etilen Vinil Acetato) insertado a la vez entre un vidrio templado de espesor 3.2mm con capa antireflexiva, por la otra parte frontal y el dorso una lámina multicapas con excelentes propiedades eléctrica , química, mecánica la cual garantiza la protección del módulo .

CCE asegura que la degradación de la Potencia nominal de los módulos no será superior en: 10 % a los 20 años y en 20 % a los 25 años, 10 años de garantía contra defectos de fabricación. Los módulos DSM cumplen con todo los requerimientos establecidos en las normas internacionales. Estos se muestran en la tabla 3.2 y 3.3 respectivamente. Esquema de los paneles con sus curvas Anexo VIII y IX.

❖ IEC 61215 – Edición 2, IEC 61730

❖ Clase de protección II

Tabla 3.2 Especificaciones técnicas de los paneles a utilizar

Celda	Celda Solar de silicio Multicristalino 156 X 156 mm
No. De celdas y conexiones	60 (6X10)
Dimensiones del módulo	1650 mm X 990 mm X 40 mm
Cubierta frontal	Vidrio Templado con capa anti reflexiva
Material del marco	Aleación de aluminio anodizado
Peso	20 Kg

Tabla 3.3 Características eléctricas de los paneles a utiliza

Modelo	DSM-250
Voltaje a circuito abierto (Voc) [V]	37,7
Voltaje en el punto de máxima potencia (Vmp) [V]	30.5
Corriente de corto circuito (Isc) [A]	8,55
Corriente en el punto de máxima potencia (Imp) [A]	8,19
Potencia máxima a STC (Pm) [Wp]	250
Tolerancia, [%]	±3
STC: 1000 W/m ² , 25 °C, AM 1,5	



Figura 3.11 Celda fotovoltaica DSM-250.

La ubicación de estos módulos fotovoltaicos será en el techo del edificio teniendo las condiciones óptimas que este presenta, las baterías en el cuarto de los circuitos de la empresa Anexo VI, para encender por una fotocelda que ya está instalada con un circuito de control también ya realizado por la empresa AnexoVII.

3.6 Valoración Económica

Este trabajo presenta un gran 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 en el trabajo no se desarrolla cálculo económico debido a que ya la inversión total del proyecto de iluminación de la empresa está realizado. El trabajo lo que muestra es la manera de cómo

instalar estas luminarias para su óptimo desempeño. Para la valoración económica realizada. Se tuvo en cuenta el análisis solamente de la compra de los paneles fotovoltaicos.

Teniendo en cuenta que se pretenden sustituir 48 luminarias en su totalidad del sistema de iluminación convencional por tecnología LED y cada reposición consume 80 W, la carga instalada a alimentar sería de unos 3840 W ahorrando solamente en la sustitución de estas 4560 W por hora y un total de 648 kW al año, aplicándole la tarifa B-1 vigente $(0.02931\$/\text{kWh} \times 4.143 + 0.1131\$/\text{kWh}) \times 648 \text{ kWh/a}$ con un importe de 151.9763 CUC.

Para una autonomía de 1 a tendrán 247 unidades de baterías, a un costo por cada una de 110 CUC el monto total por concepto de batería 2717 CUC. Los inversores son necesarios de 4 kW trifásico con un monto total de 5535.88CUC.

Para alimentar el nuevo sistema se necesitaría un total de 16 módulos fotovoltaicos que según sus características eléctricas alcanzan un total de 4000 W que se necesitan alimentar. El precio de esta inversión está por los 3200.00 CUC, ya que cada módulo cuesta unos 200.00 CUC. El tiempo en que se recuperaría la inversión estaría dado por:

Tiempo de Amortización

$T \text{ Amortización} = \text{Costo de la inv.} / \text{Ahorro en el año.} = 8.41 \text{ años.}$

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 a 100 mil horas. 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.
- No emiten rayos ultravioleta por lo que atraen menos insectos.

3.8 Conclusiones

1. Se ofreció la solución a las principales dificultades encontradas en el sistema de iluminación de la empresa.
2. Se dejaron bien claras las transformaciones a realizar para elevar los niveles medios de iluminación en servicio en toda la vía de la empresa, así como los equipos a implementar a la hora de darle cumplimiento al trabajo realizado.
3. Se muestra el impacto medioambiental y el ahorro de energía que proporcionaría a la empresa de proyectos del níquel, el municipio y al país.

CONCLUSIONES GENERALES

La sustitución de la tecnología convencional por tecnología LED y alimentada con celdas fotovoltaicas muestra a través de los resultados técnicos y económicos las posibilidades de ejecución de la sustitución permitiendo llegar a las siguientes conclusiones:

1. Se brinda una propuesta general para el estudio de instalaciones de sistemas de alumbrado público similares que permite un análisis integral de los aspectos cuantitativos cualitativos y económicos para brindar un adecuado servicio, dando lugar a la sustitución de la tecnología de alumbrado convencional por LED.
2. La información técnica y económica que brinda la propuesta desarrollada permite la evaluación energética del sistema de alumbrado de exteriores de la empresa de proyectos del níquel valorando la situación del servicio de Alumbrado Público en el área.
3. Se determinó que los niveles de iluminación no cumplen con las normas de seguridad establecida, la inadecuada selección de las luminarias, así como la escasez y mala distribución de las mismas.

RECOMENDACIONES

1. Extender los estudios realizados a otras empresas en el municipio o la provincia, con vista a mejorar las condiciones de trabajo y el servicio prestado los trabajadores nocturnos.
2. Ofrecer un curso capacitación al personal destinado a trabajar el sistema que se propone.
3. Las luminarias propuestas, no deben exceder un ángulo de 10^0 con respecto a la horizontal, evitando de esta forma que estas provoquen deslumbramiento y se desperdicie luz hacia el espacio.

BIBLIOGRAFÍA

- 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 ", Departamento 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.

ANEXO I

Datos de entrada

Determinación del nivel de iluminancia media (E_m). Dependiendo de las características y clase o tipo de pavimento y de vía, intensidad del tráfico, etc. Como valores orientativos se pueden usar:

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.

Flujos recomendados

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

Elegir la disposición de luminarias más adecuada según la relación entre el ancho de la calzada y la altura de las luminarias.

Relación de alturas

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

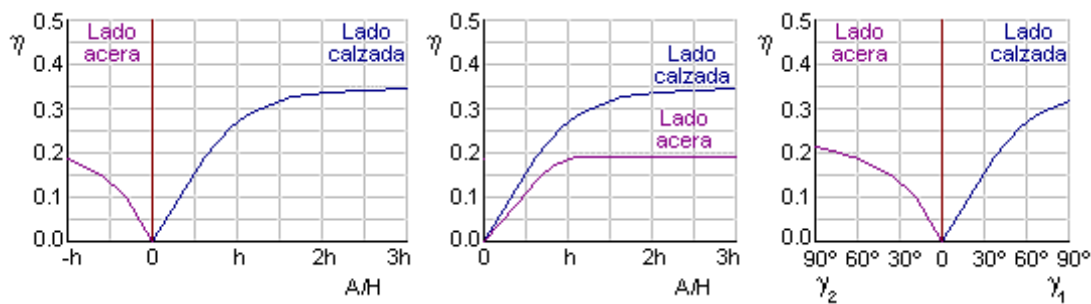
ANEXO II

Calcular el factor de utilización (η).

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

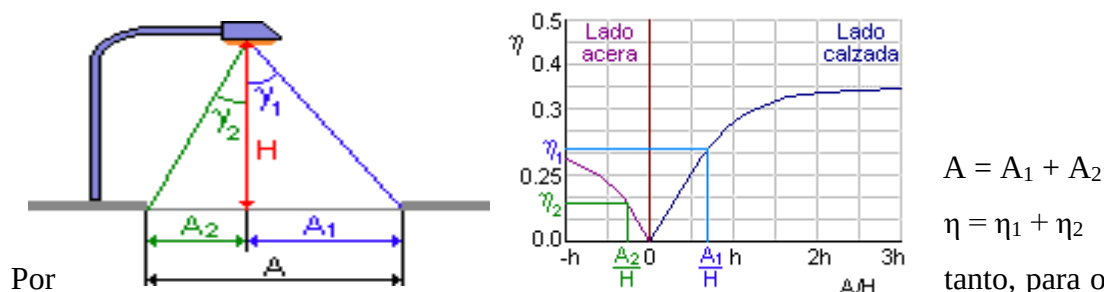
$$\eta = \frac{\Phi_{\text{útil}}}{\Phi_L}$$

Representación de (η) mediante las curvas suministradas por los fabricantes con las luminarias. Estas curvas se pueden determinar en función del cociente entre la anchura de la calle y la altura (A/H), la más habitual, o de los ángulos γ_1 , γ_2 en el lado calzada y acera respectivamente.



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.



Por

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.

$$A = A_1 + A_2$$

$$\eta = \eta_1 + \eta_2$$

tanto, para obtener el factor

ANEXO III

Cálculo de la separación entre luminarias (d) utilizando la expresión de la iluminancia media

$$E_m = \frac{\eta \cdot f_m \cdot \Phi_L}{A \cdot d}$$

donde:

E_m es la iluminancia media sobre la calzada que queremos conseguir.

η es el factor de utilización de la instalación.

f_m es el factor de mantenimiento.

Φ_L es el flujo luminoso de la lámpara.

A es la anchura a iluminar de la calzada que en disposición bilateral pareada es la mitad (A/2) y toda (A) en disposiciones unilateral y tresbolillo.

d es la separación entre las luminarias.

Comprobación

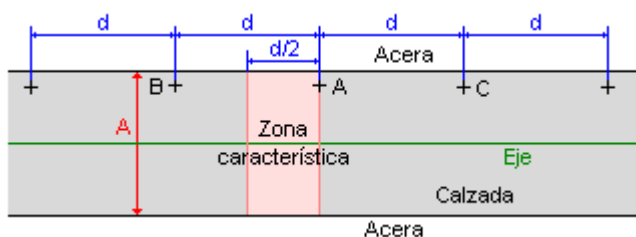
E_m (lux)	separación / altura
$2 \leq E_m < 7$	$5 \leq d/h < 4$
$7 \leq E_m < 15$	$4 \leq d/h < 3.5$
$15 \leq E_m \leq 30$	$3.5 \leq d/h < 2$

Anexo IV

Método de los nueve puntos

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

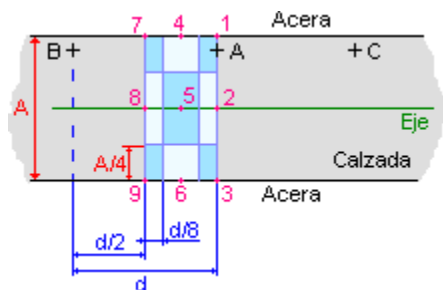
Figura N°6: Distancia entre luminarias



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

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

Figura N°7: Dominios y puntos



Distribución de puntos en una disposición unilateral

El valor medio de las iluminancias será para este caso:

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

con:

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

$$S_2 = S_8 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{8} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{16} = 2S_1$$

$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{4} = \frac{A \cdot d}{8} = 4S_1$$

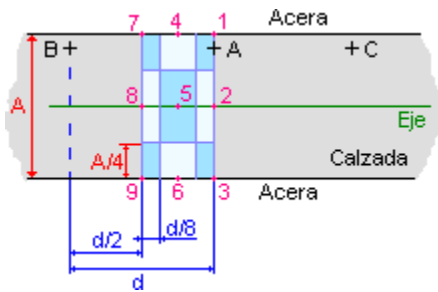
Se puede demostrar fácilmente que la expresión anterior de E_m es también válida para las disposiciones tresbolillo y bilateral pareada.

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:

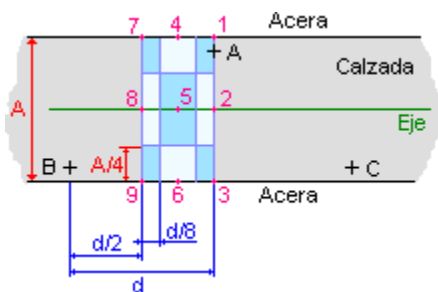
$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$

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



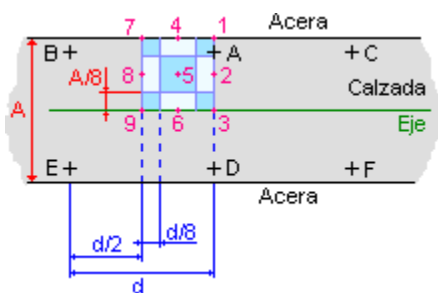
$$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC}$$

Distribución de puntos en una disposición unilateral



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

Distribución de puntos en una disposición tresbolillo



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

Distribución de puntos en una disposición bilateral pareada.

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

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

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

Para calcular las iluminancias podemos proceder de dos maneras:

En primer lugar podemos calcularlas usando la fórmula:

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

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:

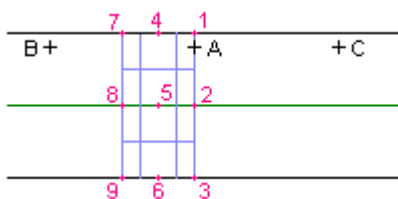
Las curvas isolux de la luminaria (fotocopiadas sobre papel vegetal o transparencias)

La planta de la calle dibujada en la misma escala que la curva isolux.

Una tabla para apuntar los valores leídos.

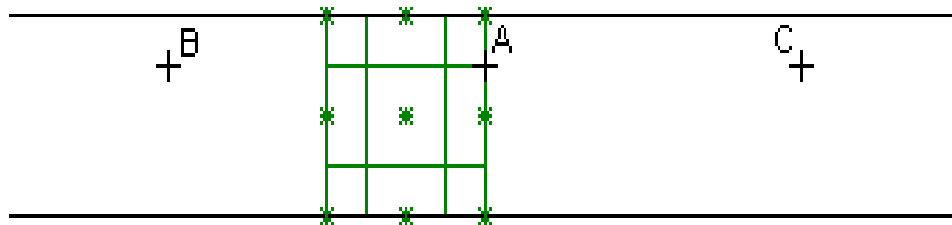
El procedimiento de cálculo es el siguiente. Sobre el plano de la planta situamos los nueve puntos y las proyecciones de los centros fotométricos de las luminarias sobre la calzada.

Figura N°8: Calzada con centros fotométricos



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

Veámoslo mejor con un ejemplo sencillo. Suponiendo una calle con luminarias de 2000 lm situadas a una altura de 8 m.

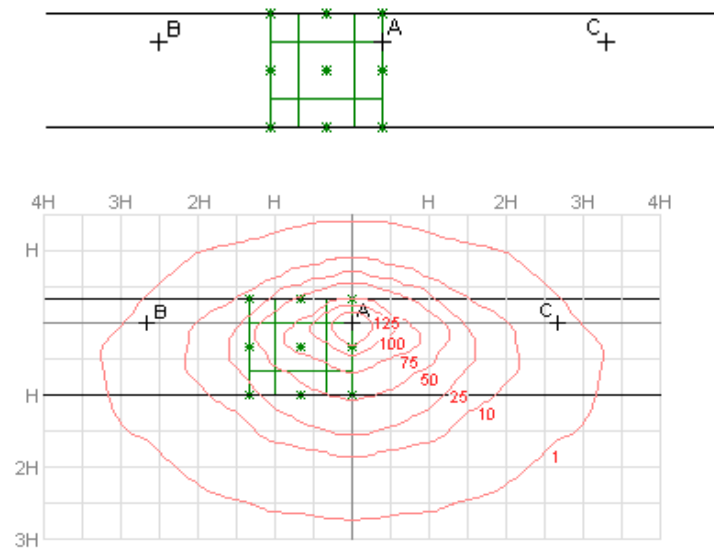


	123456789
$\Sigma E_{i\ c}$	000000000
$E_{i\ real}$	000000000
A	000000000
B	000000000
C	000000000

Los pasos a seguir son:

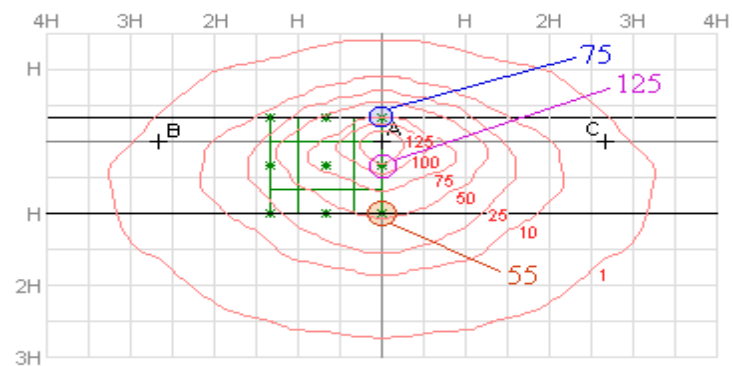
Sobre el plano de la calle se superpone la curva isolux sobre una de las luminarias.

Curva isolux sobre luminarias

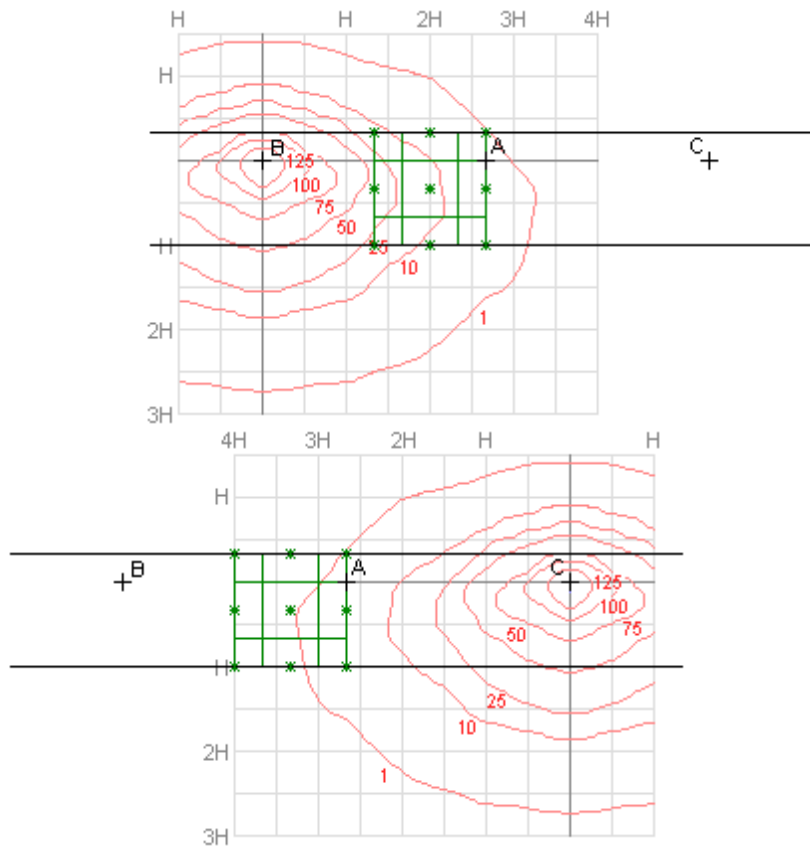


A continuación se leen los valores relativos de la iluminancia en cada punto y los anotan en la tabla.

Apuntes valores relativos



Una vez terminado, se traslada la curva isolux a otra luminaria y se repite el proceso.



Finalmente, se suman las contribuciones individuales de cada luminaria sobre cada uno de los puntos, y se obtienen sus iluminancias relativas.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
ΣE_{ic}	77	135	63	57	96	53	33	90	40
$E_{i \text{ real}}$	24.1	42.2	19.7	17.8	30	16.6	10.3	28.1	12.5
A	75	125	55	50	80	45	15	45	20
B	1	5	4	7	15	8	18	45	20
C	1	5	4	0	1	0	0	0	0

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

Finalmente, se calcula la iluminancia media y los factores de uniformidad:

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

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

