



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

ÁREA DE LA ENERGÍA LAS INDUSTRIAS Y LOS RECURSOS NATURALES NO RENOVABLES

INGENIERÍA ELECTROMECAÁNICA

TEMA:

**“CÁLCULO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE
ILUMINACIÓN SOLAR, UTILIZANDO PANELES
FOTOVOLTAICOS Y TECNOLOGÍA LED, PARA EL ALUMBRADO
DE VÍAS PÚBLICAS”**

Tesis de grado previo a la
obtención del título de
Ingeniero Electromecánico.

Autor:

Eddy Ronald Imán Suquilanda

Director:

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

1859

Loja - Ecuador

2013



CERTIFICACIÓN

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

DIRECTOR DE TESIS

CERTIFICA:

Haber dirigido, asesorado, revisado y corregido el presente trabajo de tesis de grado, en su proceso de investigación cuyo tema versa en **“CÁLCULO, DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UN PROTOTIPO DE ILUMINACIÓN SOLAR, UTILIZANDO PANELES FOTOVOLTAICOS Y TECNOLOGÍA LED, PARA EL ALUMBRADO DE VÍAS PÚBLICAS”**, previa a la obtención del título de Ingeniero, realizado por el señor egresado: Eddy Ronald Imán Suquilanda, la misma que cumple con la reglamentación y políticas de investigación, por lo que autorizo su presentación y posterior sustentación y defensa.

Loja, 21 de Febrero del 2013

Ing. Juan Pablo Cabrera Samaniego

DIRECTOR DE TESIS

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

La investigación, análisis y conclusiones del presente trabajo de tesis, les corresponden exclusivamente a su autor y el patrimonio intelectual a la Universidad Nacional de Loja. Autorizamos al Área de la Energía, las Industrias y los Recursos Naturales No Renovables y por ende a la carrera de Ingeniería en Electromecánica, hacer uso del presente documento en lo que estime conveniente.

Eddy Ronald Imán Suquilanda
Egdo, Ingeniería en Electromecánica

DEDICATORIA

Con especial atención y con mucho amor dedico este trabajo de investigación primeramente a Dios por permitirme la vida; a mis padres, a mi esposa y a mi pequeña hija Anahí Elizabeth, quienes me han dado el impulso, su apoyo moral e incondicional; sin su ayuda me hubiese sido imposible lograr mis aspiraciones y cumplir con éxito mi carrera profesional.

Eddy Ronald Imán Suquilanda

AGRADECIMIENTO

Una vez concluido el presente trabajo de tesis, producto del esfuerzo y perseverancia, expreso mi agradecimiento a las Autoridades y Docentes del Área de Energía las industrias y los Recursos Naturales no Renovables, en especial de la carrera de Ingeniería en Electromecánica de la Universidad Nacional de Loja, por hacerme participe de sus enseñanzas en la formación académica a lo largo de la carrera.

Sobre todo un especial e imperecedero agradecimiento al Ing. Juan Pablo Cabrera, Director de Tesis, quien supo orientarme y guiarme en el proceso, para que el presente trabajo investigativo sea culminado con éxito.

De igual manera, valga mi agradecimiento a todas las personas que de una u otra forma colaboraron y proporcionaron la información solicitada para llevar a cabo el proyecto.

El autor

TABLA DE CONTENIDOS

a.-TÍTULO.....	12
b. RESUMEN	13
SUMMARY	13
c.- INTRODUCCIÓN.....	14
d.- REVISIÓN DE LITERATURA.....	16
CAPÍTULO I: ILUMINACIÓN Y CONTROL	16
1.1. Iluminación LED para vías.....	16
1.2. Lámparas con LED de Alta Intensidad para Iluminación de Calles y Vialidades.....	17
1.3. Características Importantes Lámparas con LED de Alta Intensidad para Iluminación de Calles y Vialidades	18
CAPÍTULO II: ALMACENAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.....	20
2.1. Batería (electricidad)	20
2.1.1. Pila vs. Batería vs. Acumulador	20
2.1.2. Principios de funcionamiento	21
2.1.3. Tipos de acumuladores	21
2.1.3.1. Acumulador de plomo (Pb)	21
2.1.3.2. Batería alcalina	22
2.1.3.3. Baterías alcalinas de manganeso	22
2.1.3.4. Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd)	23
2.1.3.5. Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH).....	23
2.1.3.6. Baterías de iones de litio (Li-ion).....	23
2.1.3.7. Baterías de polímero de litio (LiPo).....	24
2.1.4. Efecto memoria	24
2.1.5. Parámetros de un acumulador.....	24
2.1.6 Tabla comparativa de los diferentes tipos de acumulador	25
2.1.7 Las baterías como contaminantes.....	25
2.1.8 Cálculo de baterías	26
2.2 Panel solar	28
2.2.1 Eficiencia en la conversión de energía	29
2.2.2 Fabricación de paneles convencionales	30
CAPITULO III CÁLCULO Y NORMAS DE ILUMINACIÓN DE VÍAS PÚBLICAS.....	32
3.1 Cálculo estructural	32

3.1.1 Esfuerzo simple de compresión	33
3.1.2 Momento flector	33
3.1.3 Deformación.....	35
3.1.4 Fuerza del viento	36
3.2 Normas de alumbrado público.....	37
3.2.1 Vías vehiculares.....	38
3.2.2 Clases de iluminación para diferentes zonas de aplicación	39
3.2.3 Localización de luminarias.....	41
3.2.4 Configuraciones básicas de localización de puntos de iluminación.....	42
3.2.5 Disposición de las luminarias en la vía	42
3.2.6 Cálculo para la iluminación de vías públicas	46
3.2.7 Criterios de calidad.....	48
3.2.7 Coeficientes de uniformidad	49
3.2.8 Deslumbramiento.....	49
3.2.9 Coeficiente de iluminación en los alrededores	50
3.2.10 Lámparas y luminarias.....	50
CAPITULO IV SOFTWARE DE ILUMINACIÓN DE VÍAS PÚBLICAS	53
4.1 Luminarias	54
4.1.1 Instalar datos de luminaria.....	54
4.1.2 Sobre los catálogos online.....	54
4.1.3 Actualización online de catálogos de luminarias	54
4.2 Asistente de iluminación DIALux Light	55
e.- MATERIALES Y MÉTODOS.....	61
e.1 Materiales	61
e.2 Métodos	61
e.2.1. Técnicas de trabajo	63
f.- RESULTADOS	64
1. Luminaria LED.....	66
2. Cálculo de la carga.....	70
3. Panel solar	71
4. Batería	72
5. Regulador de voltaje	74
6. Cálculo de la estructura.....	75

7. Cálculo de iluminación	79
8. Ventajas del sistema LED.....	88
9. Costo real de la energía solar fotovoltaica generada y ahorro anual	90
10. Ahorro energético	94
11. Emisiones de CO2 evitados	94
g.1 Valoración técnico - económica.....	97
h.- CONCLUSIONES	98
i.- RECOMENDACIONES	100
j.- BIBLIOGRAFÍA	101
LIBROS:.....	101
REVISTAS ELECTRÓNICAS:.....	101
TESIS:	102
ENCARTA 2009	102
PAGINAS WEB:.....	102
k. ANEXOS	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Iluminación LED.....	16
Figura 2. Batería marca cyclon.....	20
Figura 3. Batería de plomo	21
Figura 4. Pilas recargables.....	26
Figura 5. Panel fotovoltaico.....	29
Figura 6. Paneles solares	31
Figura 7 Diagrama de fuerzas distribuidas	34
Figura 8 Diagrama de momentos flectores.....	34
Figura 9. Disposición del alumbrado en las vías	43
Figura 10. Vías con parterres.....	44
Figura 11. Vías con curvas	44
Figura 12. Vías en plazas y glorietas	45
Figura 13. Vías en redondeles	45
Figura 14. Vías con calzada de doble sentido	46
Figura 15. Vías con árboles	46
Figura 16. Ángulo de rayos incidentes	47
Figura 17. Ángulo de incidencia de la luz	48

Figura 18. Iluminación a los alrededores	50
Figura 19. Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión	52
Figura 20 Entorno DIALux 3D y 2D.....	53
Figura 21 Actualizar catálogo de luminarias	55
Figura 22 Asistente de iluminación DIALux Light.....	55
Figura 23 Asistente de iluminación DIALux Light - inicio	56
Figura 24 Asistente de iluminación DIALux Light - información del proyecto	56
Figura 25 Evaluación y clase de iluminación.....	57
Figura 26 Evaluación de la calzada	57
Figura 27 Selección de luminaria	58
Figura 28 Fotometría de la luminaria Led LU2.....	58
Figura 29 Parámetros variables de disposición	59
Figura 30 Propuestas de disposición	59
Figura 31 Simulaciones de los resultados de una vía	60
Figura 32 Luminaria LU2.....	67
Figura 33 Distribuciones de temperatura.....	67
Figura 34 Degradaciones en horas de la luminaria.....	68
Figura 35 Haz de luz de una luminaria.....	68
Figura 36 Distribución de la luz a varias alturas	69
Figura 37 Curvas de la distribución de la luz	69
Figura 38 Haz de la luz en la tierra.....	70
Figura 39 Panel solar 50W	72
Figura 40 Baterías de gel de 120 Ah	72
Figura 41 Regulador de voltaje SunSaver 6	74
Figura 42 Dimensiones de los paneles de 50 W	75
Figura 43 Diagrama de fuerzas, momento cortante y momento flector de la viga 1.....	76
Figura 44 Diagrama de fuerzas, momento cortante y momento flector de la viga 2.....	77
Figura 45 Diagrama de fuerzas que actúan en el mástil	78
Figura 46 Diagrama de resistencia del panel al viento.....	79
Figura 47 Datos de planificación DIALux	81
Figura 48 Característica de la luminaria DIALux	82

Figura 49 Resultados luminotécnicos DIALux	82
Figura 50 Resultados representados en colores falsos	86
Figura 51 Resultados de la iluminancia y luminancia distribuida en la vía	86
Figura 52 Vista 3D de la distribución luminosa	87
Figura 53 Colores falsos de la distribución luminoso	87
Figura 54 Resultados de la planificación de iluminación	88

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. LED de alta intensidad	17
Tabla 2. Comparación de diferentes tipos de acumuladores	25
Tabla 3: Valores de iluminancia para diferente tipo de ancho de calles	37
Tabla 4 Clases de iluminación para vías vehicular.....	38
Tabla 5 Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada	40
Tabla 6 Valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio (lx) en vías motorizadas	40
Tabla 7 Recomendación para disposición de luminarias.....	42
Tabla 8. Relación entre el ancho y alto del montaje.....	43
Tabla 9. Deslumbramiento	49
Tabla 10. Alcance longitudinal.....	51
Tabla 11. Dispersión transversal	52
Tabla 12. Control de la capacidad de la luminaria	52
Tabla 13 Cálculo de la carga conectada	70
Tabla 14 Mediciones de la velocidad del viento de meses críticos	78

SIMBOLOGÍA

AC	Corriente alterna
DC	Corriente continúa
Ic	Corriente del panel
As	Corriente requerida
Tn	Tensión del sistema
Np	Número de paneles

C_{bat}	Capacidad del acumulador
C_{max}	Consumo del sistema
Da	Días de autonomía
Pd	Profundidad de descarga
Qd	Carga diaria corregida
Phs	Promedio de horas de sol
Fc	Factor de seguridad
Ec	Corriente requerida al día
η	Rendimiento del panel
Pn	Potencia del panel
Ecc	Corriente requerida del panel
Ib	Intensidad de corriente de batería
M_{max}	Momento flector máximo
P	Fuerza
L	Longitud de la viga
δ	Deflexión máxima (deformación)
E	Módulo de elasticidad
I	Momento de inercia
Pt	Fuerza de estructura y paneles
A	Sección transversales
σ	Tensión de compresión
V	Velocidad del viento
Pv	Presión del viento en el panel
γ	Densidad media del aire
g	Aceleración de la gravedad
Q	Carga del panel al viento
S	Área del panel
Ma	Momento flector
Lm	Longitud del mástil
CA	Carga total conectada (alumbrado)
Ai	Área total iluminada

DPEA	Densidad de potencia eléctrica
Ei	Iluminancia
dφ	Flujo luminoso
ds	Unidad de superficie
Ti	Deslumbramiento
Lu	Luminancia de velo equivalente
Lm	Luminancia media calzada
Ul	Uniformidad longitudinal
L_{min}	Luminancia mínima
L_{max}	Luminancia máxima
PA	Peso del área
Ptt	Peso total
At	Área total
b	Base
h	Altura
G	Irradiación (W/m ²)
Unidades	
A	Amperios
W	Vatio
h	Hora
v	Voltio
N	Newton
m	Metro
Kg	Kilo gramo
S	Segundo
Cd	Candela
Lux	Iluminancia
Cd/m²	luminancia

a.-TÍTULO

“Cálculo, diseño y simulación de un prototipo de iluminación solar, utilizando paneles fotovoltaicos y tecnología LED, para el alumbrado de vías públicas”.

b. RESUMEN

En el presente trabajo se realizó el cálculo de generación de energía eléctrica a través del sistema fotovoltaico (paneles con celdas que contienen silicio un semiconductor que se excita fácilmente con la luz) produciéndose así corriente continua, la cual pasa por un regulador de carga que es el encargado de conectar y desconectar un banco de baterías de gel cero mantenimiento. Estos paneles se colocan dependiendo de la cantidad de energía que se quiera producir, en nuestro prototipo alimentaremos una luminaria con tecnología LED; con la cual brindaremos una iluminación de calidad a las vías de circulación vehicular basándose en las normas de la comisión internacional de iluminación CIE.

El generar energía eléctrica con sistemas fotovoltaicos para la iluminación de vías públicas desde el punto de vista medioambiental, es un procedimiento muy favorable por ser limpio, exento de problemas de contaminación. Se suprimen radicalmente los impactos originados por los combustibles durante su extracción, transformación, transporte y combustión, etc. lo que beneficia la atmósfera, el suelo, el agua, la fauna, la vegetación.

SUMMARY.

In the following calculation performed work generating electricity through photovoltaic system (panels with cells containing silicon is a semiconductor which easily excited with light) thereby producing current, which passes through a load regulator which is responsible for switching a gel battery bank zero maintenance. These panels are placed depending on how much energy you want to produce in our prototype feed you a light with LED technology. With which we will provide quality lighting to vehicular traffic routes based on standards CIE International Commission on Illumination.

Generating electricity with photovoltaic systems for lighting public roads from the environmental point of view, is a very favorable be clean, free of pollution problems. The impacts are deleted fuels arising during extraction, processing, transportation and combustion, etc.. which benefits the atmosphere, soil, water, wildlife, vegetation.

c.- INTRODUCCIÓN

Hoy en día, los niveles de consumo energético de la humanidad han llegado a unos límites que no sólo están agotando las reservas de recursos de fácil disponibilidad, sino que empiezan a hacer peligrar la propia supervivencia del hombre y de su entorno por los efectos secundarios que su transformación en energía útil conlleva. Afortunadamente, nuestro nivel de conocimiento está en consonancia con ese crecimiento desmedido y disponemos de la tecnología necesaria para responder a ello adoptando nuevos sistemas energéticos basados en recursos limpios e inagotables. El cambio no será sencillo, pero no sólo es deseable lógicamente y moralmente, sino absolutamente necesario para las generaciones futuras. Tales recursos son normalmente conocidos como energías renovables, por el hecho de que su transformación en energía útil no conlleva el agotamiento del recurso, el cual se mantiene inalterado por su propia naturaleza. El problema puede abordarse desde dos puntos de vista diferentes: la rentabilidad energética y la rentabilidad económica. Ambos son, sin duda, deseables, pero a veces es necesario sacrificar uno de los objetivos en favor del otro.

En este punto las posturas divergen, si bien para el público en general, incluso en el ámbito científico, cuando se habla de rentabilidad se está haciendo referencia a la rentabilidad económica. Así, la opinión más frecuente que se escucha es la de que “las energías renovables son caras”, para a continuación condenarlas a la marginalidad. La realidad es bien distinta: las energías renovables son las más baratas por cuanto no contaminan nuestro medio ambiente, no ensucian el aire que respiramos ni el agua que bebemos, ni afectan las condiciones climáticas a las que estamos adaptados. Puede que para muchos estas cosas no tengan valor, pero si les adjudicáramos un precio al igual que hemos hecho con el oro, base de nuestro sistema económico mundial gracias a sus bonitos reflejos cuando es iluminado.

Otra razón que se aduce habitualmente incluso en círculos técnicos es que la tecnología actual no es capaz de producir energía suficiente para mantener el actual sistema energético.

La energía, solar fotovoltaica constituye una de las más importantes por la abundancia de recurso (la luz solar), la sencillez de su transformación en energía eléctrica útil y, por último, su modularidad. Sin embargo, las eficiencias de conversión de los dispositivos

comerciales, basados en células de silicio, hoy día no superan el 18-19% en módulo en el mejor de los casos, oscilando el valor estándar entre el 13 y el 15%. Esto unido a que se trata de una industria con un mercado poco desarrollado todavía hace que los costos de producción sean elevados frente a la capacidad de producción energética, lo hace que los sistemas fotovoltaicos aún sean económicamente más caros que los convencionales.

Como cabe esperar, la tesis aquí desarrollada plasma el trabajo para un primer paso en el camino que aquí se abre y que aún tiene un largo trecho por recorrer hasta alcanzar sus metas (pues serán seguramente muchas). Sin embargo, es sabido que el primer paso suele ser el más difícil. Por ello, sirva también este trabajo impulso al desarrollo de nuevas iniciativas de investigación en esta materia, que permitan finalmente hacer historia en el avance del sistema energético de la sociedad humana y, en definitiva, en su evolución sostenible.

d.- REVISIÓN DE LITERATURA

CAPÍTULO I: ILUMINACIÓN Y CONTROL

1.1. Iluminación LED para vías

Con la más nueva tecnología de lámparas con LED en el mercado, se ha creado la nueva iluminación a base de LED para exteriores, lámparas de LED para iluminar vialidades y luminarias en exteriores en las avenidas y calles, plantas y fábricas y estacionamientos grandes, ahorrando más de 50% y hasta 80% de energía. Con una vida útil de 50,000 horas lo cual es todavía más larga que las antiguas lámparas y las ahorradoras de energía.

Este tipo de iluminación con LED desplazara en poco tiempo a la anteriormente llamada la iluminación mercurial, ya que con esta tecnología de LED, se ahorra energía y esto beneficia a toda población que requiera de iluminación o luminarias de LED en las vialidades, cruceros, calles, estacionamientos, centro comerciales, fábricas y fraccionamientos.



Figura 1. Iluminación LED

Ahorra hasta 100% de energía con la iluminación LED solar natural para el exterior como se observa en la figura 1. Durante el día el panel solar recibe la energía de la luz solar y lo convierte en energía eléctrica para guardarla en una pila recargable. La iluminación esta activada automáticamente en la noche y desactivada en el día.

El área efectiva de iluminación con LED de alta intensidad es 40 metros por 16 metros cuando la lámpara LED está colocada en un poste con una altitud de 12 metros. La iluminación varia de ≥ 45 lux (altitud = 6 metros) a ≥ 11 lux (altitud = 12 metros), lo cual todavía es equivalente a 2.5 veces más que luz HPS (Lámparas de vapor de sodio a alta presión).

Nichia Corporation ha desarrollado LED de luz blanca con una eficiencia luminosa de 150 lm/W, utilizando para ello una corriente de polarización directa de 20 miliamperios (mA). Esta eficiencia, comparada con otras fuentes de luz en términos de rendimiento sólo, es aproximadamente 1,7 veces superior a la de la lámpara fluorescente con prestaciones de color altas (90 lm/W) y aproximadamente 11,5 veces la de una lámpara incandescente (13 lm/W). Su eficiencia es incluso más alta que la de la lámpara de vapor de sodio de alta presión (132 lm/W), que está considerada como una de las fuentes de luz más eficientes (www.edison.upc.edu).

1.2. Lámparas con LED de Alta Intensidad para Iluminación de Calles y Vialidades

Tabla 1. LED de alta intensidad

	<p style="text-align: center;"><u>Iluminación LED Exterior SP90</u></p> <p>28 Watt, 2,100 Lúmenes, Vida Útil 50,000 Horas, Ahorrando 50%~80% 85-265VAC, 12/24DC</p> <p>Para Iluminación de Vías, Avenidas, Calles, Carreteras, Jardines, Parques, Terrazas, Pasillos, Estacionamientos, Zonas Habitacionales y Espectáculos.</p>
	<p style="text-align: center;"><u>Iluminación LED Exterior LU2</u></p> <p>56 Watt, 4,200 Lúmenes, Vida Útil 50,000 Horas, Ahorrando 50%~80%, 85-265VAC, 12/24DC</p> <p>Para Iluminación de Vías, Avenidas, Calles, Carreteras, Zonas Industriales, Zonas Comerciales, Zonas Habitacionales, Estadios, Canchas y Espectáculos,</p>
	<p style="text-align: center;"><u>Iluminación LED Exterior LU4</u></p> <p>112 Watt, 8,400 Lúmenes, Vida Útil 50,000 Horas, Ahorrando 50%~80%, 85-265VAC, 12/24DC</p> <p>Para Iluminación de Vías, Avenidas, Calles, Carreteras, Zonas Industriales, Zonas Comerciales, Zonas Habitacionales, Estadios, Canchas y Espectáculos,</p>



Iluminación LED Exterior LU6

168 Watt, 12,600 Lúmenes, Vida Útil 50,000 Horas, Ahorrando

50%~80%, 85-265VAC, 12/24DC

Para Iluminación de Vías, Avenidas, Calles, Carreteras, Zonas

Industriales, Zonas Comerciales, Zonas Habitacionales,

Estadios, Canchas y Espectáculos,

Fuente: www.pantallasled.com./productos/iluminacion_exterior

1.3. Características Importantes Lámparas con LED de Alta Intensidad para Iluminación de Calles y Vialidades

- ***Revolucionario Sistema Fotométrico***

El primer sistema óptico dedicado (lente de enfoque rectangular). Las lámparas tienen un control razonable de la distribución de luz, patrón de spots rectangulares, y aseguran la uniformidad de su brillo en la superficie de las calles.

- ***Diseño único integrado de lámpara LED y lente***

Los lentes desarrollan una protección en la iluminación, ya que evitan la duplicación de luces y reducen los costos de energía, también reducen el peso del producto y tienen un sistema de estructura simplificado.

- ***Bajo consumo de energía***

Con las lámparas de LED de alta intensidad para la iluminación de avenidas, caminos y puentes de 28W, 56W, 112W y 168W nuestras lámparas pueden reemplazar las lámparas de alta presión de sodio de 75W, 150W, 250W, y 400W directamente.

- ***Configuración creativa del diseño de módulos***

Los diseños están hecho para escoger entre cuatro tipos de configuraciones: 1, 2, 4, o 6 módulos por lámpara. Eso es para escoger el mejor tipo de iluminación para cualquier tipo de exterior.

- ***Larga Vida, hasta 50,000 horas***

Utilizándolo por 10 horas diarias, podrían utilizarse hasta por más de 13 años, es 5 a 10 veces más vida que las lámparas tradicionales de sodio y mercurio.

- ***Protegen el ambiente***

Lámparas no contienen plomo, ni mercurio. No hay contaminación ambiental.

- ***Combinación perfecta con la energía solar (Iluminación Solar es Opcional)***

Una de las ventajas de la iluminación con tecnología a base de LEDs de bajo voltaje es que de acuerdo a los recursos locales, la electricidad y la energía solar pueden ser combinadas para así alcanzar un mejor costo y beneficio.

- ***Alta eficiencia de luminosidad***

La eficiencia de la iluminación con LED en las condiciones existentes es ≥ 80 lm/w. Progresivamente aumentará el brillo del LED a 150 lm/w y la lámpara de sodio de 400W se reemplazará con la de 100W de LED, después la eficiencia de luminosidad llegará a 300 lm/w, eventualmente (www.dmxtec.com).

CAPÍTULO II: ALMACENAMIENTO Y RECOLECCIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA

2.1. Batería (electricidad)

Batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, se le denomina al dispositivo que almacena energía eléctrica (figura 2), usando procedimientos electroquímicos y que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.



Figura 2. Batería marca cyclon

2.1.1. Pila vs. Batería vs. Acumulador

El término pila, en castellano, denomina los generadores de electricidad basados en procesos químicos normalmente no reversibles, o acumuladores de energía eléctrica no recargables; mientras que batería se aplica generalmente a los dispositivos electroquímicos semi-reversibles, o acumuladores de energía eléctrica que sí se pueden recargar. Tanto pila como batería son términos provenientes de los primeros tiempos de la electricidad, en los que se juntaban varios elementos o celdas: en el primer caso uno encima de otro, "apilados", y en el segundo, adosados lateralmente, "en batería", como se sigue haciendo actualmente, para así aumentar la magnitud de los fenómenos eléctricos y poder estudiarlos sistemáticamente.

De esta explicación se desprende que cualquiera de los dos nombres serviría para cualquier tipo, pero la costumbre ha fijado la distinción. El término acumulador se aplica indistintamente a uno u otro tipo, así como a los capacitores eléctricos o a futuros métodos

de acumulación, erigiéndose de este modo como el término neutro capaz de englobar y describir a todos ellos.

2.1.2. Principios de funcionamiento

El funcionamiento de un acumulador está basado esencialmente en un proceso reversible llamado reducción-oxidación (también conocida como redox), un proceso en el cual uno de los componentes se oxida (pierde electrones) y el otro se reduce (gana electrones); es decir, un proceso cuyos componentes no resulten consumidos ni se pierdan, sino que meramente cambian su estado de oxidación, que a su vez puedan retornar al estado primero en las circunstancias adecuadas. Estas circunstancias son, en el caso de los acumuladores, el cierre del circuito externo, durante el proceso de descarga, y la aplicación de una corriente, igualmente externa, durante la carga.

Resulta que procesos de este tipo son bastante comunes, por extraño que parezca, en las relaciones entre los elementos químicos y la electricidad durante el proceso denominado electrólisis, y en los generadores voltaicos o pilas. Los investigadores del siglo XIX dedicaron numerosos esfuerzos a observar y a esclarecer este fenómeno, que recibió el nombre de polarización. Un acumulador es, así, un dispositivo en el que la polarización se lleva a sus límites alcanzables, y consta, en general, de dos electrodos, del mismo o de distinto material, sumergidos en un electrolito.

2.1.3. Tipos de acumuladores

Por lo que a sus tamaños y otras características externas se refiere, puede consultarse esta lista, ya que muchas de ellas son comunes a pilas y acumuladores y están normalizadas. Por lo que a su naturaleza interna se refiere, se encuentran habitualmente en el comercio acumuladores de los siguientes tipos:

2.1.3.1. Acumulador de plomo (Pb)



Figura 3. Batería de plomo

Está constituido por dos electrodos de plomo, de manera que, cuando el aparato está descargado, se encuentra en forma de sulfato de plomo (II) (PbSO_4) incrustado en una matriz de plomo metálico (Pb); el electrolito es una disolución de ácido sulfúrico. Este tipo de acumulador se sigue usando aún en muchas aplicaciones, entre ellas en los automóviles (figura 3).

Ventajas: Bajo costo, Fácil fabricación

Desventajas: No admiten sobrecargas ni descargas profundas, viendo seriamente disminuida su vida útil, Altamente contaminantes, Baja densidad de energía: 30 Wh/Kg, Peso excesivo, al estar compuesta principalmente de plomo, paradójicamente es más liviana una carga de ladrillos que un acumulador de plomo de 24 volts, por esta razón su uso en automóviles eléctricos es considerado como un absurdo por los técnicos electrónicos con experiencia. Su uso se restringe por esta razón en aplicaciones estacionarias como por ejemplo fuentes de alimentación ininterrumpidas para equipos médicos. Voltaje proporcionado: 12V Densidad de energía: 30 Wh/Kg

2.1.3.2. Batería alcalina

También denominada de ferroníquel, sus electrodos son láminas de acero en forma de rejilla con panales rellenos de óxido níqueloso (NiO), que constituyen el electrodo positivo, y de óxido ferroso (FeO), el negativo, estando formado el electrolito por una disolución de potasa cáustica (KOH). Durante la carga se produce un proceso de oxidación anódica y otro de reducción catódica, transformándose el óxido níqueloso en níquelico y el óxido ferroso en hierro metálico. Esta reacción se produce en sentido inverso durante la descarga.

El voltaje de una pila alcalina es cercano a 1,5 V. El ánodo está compuesto de una pasta de zinc amalgamado con mercurio (total 1%), carbono o grafito. Se utilizan para aparatos complejos y de elevado consumo energético. En sus versiones de 1,5 voltios, 6 voltios y 12 voltios se emplean, por ejemplo, en mandos a distancia (control remoto) y alarmas.

2.1.3.3. Baterías alcalinas de manganeso

Con un contenido de mercurio que ronda el 0,1% de su peso total, es una versión mejorada de la pila anterior, en la que se ha sustituido el conductor iónico cloruro de amonio por

hidróxido de potasio (de ahí su nombre de alcalina). El recipiente de la pila es de acero, y la disposición del zinc y del óxido de manganeso (IV) (o dióxido de manganeso) es la contraria, situándose el zinc, ahora en polvo, en el centro. La cantidad de mercurio empleada para regularizar la descarga es mayor. Esto le confiere mayor duración, más constancia en el tiempo y mejor rendimiento. Por el contrario, su precio es más elevado. También suministra una fuerza electromotriz de 1,5 V. Se utiliza en aparatos de mayor consumo como: grabadoras portátiles, juguetes con motor, flashes electrónicos.

2.1.3.4. Baterías de níquel-cadmio (Ni-Cd)

Utilizan un cátodo de hidróxido de níquel y un ánodo de un compuesto de cadmio. El electrolito es de hidróxido de potasio. Esta configuración de materiales permite recargar la batería una vez está agotada, para su reutilización. Sin embargo, su densidad de energía es de tan sólo 50 Wh/kg, lo que hace que tengan poca capacidad. Admiten sobrecargas, se pueden seguir cargando cuando ya no admiten más carga, aunque no la almacena. Admiten un gran rango de temperaturas de funcionamiento.

- Voltaje proporcionado: 1,2V
- Densidad de energía: 50 Wh/Kg
- Capacidad usual: 0.5 a 1.0 Amperios (en pilas tipo AA)
- Efecto memoria: muy Alto

2.1.3.5. Baterías de níquel-hidruro metálico (Ni-MH)

Utilizan un ánodo de hidróxido de níquel y un cátodo de una aleación de hidruro metálico. Este tipo de baterías se encuentran menos afectadas por el llamado efecto memoria. No admiten bien el frío extremo, reduciendo drásticamente la potencia eficaz que puede entregar. Voltaje proporcionado: 1,2V Densidad de energía: 80 Wh/Kg Capacidad usual: 0.5 a 2.8 Amperios (en pilas tipo AA) Efecto memoria: bajo

2.1.3.6. Baterías de iones de litio (Li-ion)

Las baterías de iones de litio (Li-ion) utilizan un ánodo de grafito y un cátodo de óxido de cobalto, trifilina (LiFePO_4) u óxido de manganeso. Su desarrollo es más reciente, y permite llegar a altas densidades de capacidad. No admiten descargas, y sufren mucho cuando éstas

sucedan por lo que suelen llevar acoplada circuitería adicional para conocer el estado de la batería, y evitar así tanto la carga excesiva, como la descarga completa. Apenas sufren el efecto memoria y pueden cargarse sin necesidad de estar descargadas completamente, sin reducción de su vida útil. No admiten bien los cambios de temperatura.

Voltaje proporcionado:

- A Plena carga: Entre 4.2V y 4.3V dependiendo del fabricante
- A carga nominal: Entre 3.6V y 3.7V dependiendo del fabricante
- A baja carga: Entre 2,65V y 2,75V dependiendo del fabricante (este valor no es un límite, se recomienda):
 - Densidad de energía: 115 Wh/Kg
 - Capacidad usual: 1.5 a 2.8 Amperios (en pilas tipo AA)
 - Efecto memoria: muy bajo

2.1.3.7. Baterías de polímero de litio (LiPo)

Son una variación de las baterías de iones de litio (Li-ion). Sus características son muy similares, pero permiten una mayor densidad de energía, así como una tasa de descarga bastante superior. Estas baterías tienen un tamaño más reducido respecto a las de otros componentes. Su tamaño y peso las hace muy útiles para equipos pequeños que requieran potencia y duración, como manos libres bluetooth.

2.1.4. Efecto memoria

En el que en cada recarga se limita el voltaje o la capacidad (a causa de un tiempo largo, una alta temperatura, o una corriente elevada), reduciendo la capacidad de almacenar energía, al crearse cristales en el interior de la batería.

2.1.5. Parámetros de un acumulador

La tensión o potencial (en voltios) es el primer parámetro a considerar, pues es el que suele determinar si el acumulador conviene al uso a que se le destina. Viene fijado por el potencial de reducción del par redox utilizado; suele estar entre 1 V y 4 V por elemento. La cantidad de corriente que puede Almacenar el elemento o capacidad del acumulador, se mide en Amperios hora (Ah) y es el segundo parámetro a considerar. Especial importancia tiene en algunos casos la intensidad de corriente máxima obtenible ampere (A); por

ejemplo, los motores de arranque de los automóviles exigen esfuerzos muy grandes de la batería cuando se ponen en funcionamiento (centenas de A), pero actúan durante poco tiempo. El rendimiento es la relación porcentual entre la energía eléctrica recibida en el proceso de carga y la que el acumulador entrega durante la descarga. El acumulador de plomo-ácido tiene un rendimiento de más del 90%. las baterías Ni-CD un 83% .

[http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_\(electricidad\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_(electricidad))

2.1.6 Tabla comparativa de los diferentes tipos de acumulador

Tabla 2. Comparación de diferentes tipos de acumuladores

Tipo	Energía/ peso	Tensión por elemento (V)	Duración (número de recargas)	Tiempo de carga	Auto-descarga por mes (% del total)
Plomo	30-50 Wh/kg	2 V	1000	8-16h	5 %
Ni-Cd	48-80 Wh/kg	1,25 V	500	10-14h *	30%
Ni-Mh	60-120 Wh/kg	1,25 V	1000	2h-4h *	20 %
Li-ion	110-160 Wh/kg	3,16 V	4000	2h-4h	25 %
Li-Po	100-130 Wh/kg	3,7 V	5000	1h-1,5h	10%

Fuente: [www.wikipedia.comparación de acumuladores/](http://www.wikipedia.comparación%20de%20acumuladores/).

* Las baterías de Níquel se pueden cargar hasta en 30 minutos, con cargas rápidas, pero disminuye su vida, y se calientan en exceso, siendo las únicas que admiten este tipo de cargas. Como se puede observar en la tabla 2.

2.1.7 Las baterías como contaminantes

Como se ha visto, las baterías contienen metales pesados y compuestos químicos, muchos de ellos perjudiciales para el medio ambiente. Es muy importante no tirarlas a la basura (en la mayoría de los países eso no está permitido), y llevarlas a un centro de reciclado.

Actualmente, la mayoría de los proveedores y tiendas especializadas también se hacen cargo de las baterías gastadas figura 4. ([http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_\(baterias\)](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_(baterias))).



Figura 4. Pilas recargables

2.1.8 Cálculo de baterías

El acumulador se dimensiona pensando en la autonomía de la instalación por si se producen períodos de días seguidos sin sol o con insolación insuficiente como en los días nublados. Son los llamados “días de autonomía”. Por otro lado hay que conseguir que la profundidad de descarga máxima diaria no supere la tolerable por el tipo de acumulador elegido. Si la descarga diaria provocada a la batería no supera el 15% de su capacidad se consiguen los valores aconsejados de profundidad de descarga. Relacionando el consumo C_{max} por los días de autonomía y con el porcentaje de profundidad de descarga máxima esperado (p.e. del 60%) tendremos la capacidad expresada en vatios, pero hay que dividir por la tensión de servicio (12V) para obtener la capacidad adecuada del acumulador en Ah:

$$C_{BAT} = \left(\frac{C_{m\acute{a}x} \cdot D_a}{P_d} \right) / T_n \quad (\text{Ecuación 1})$$

Dónde:

C_{BAT} = capacidad del acumulador (Ah)

$C_{m\acute{a}x}$ = consumo (vatios por hora que trabaja en el día Whd)

D_a = días de autonomía

P_d = profundidad de descarga (62%)

T_n = voltaje del sistema (v)

La descarga diaria de la batería viene dada por la formula descrita a continuación

$$D_d = \frac{E_c}{C_{BAT}} \times 100 \quad (\text{Ecuación 2})$$

Dónde:

Dd = descarga diaria (%)

La profundidad de descarga del acumulador viene dada por la siguiente ecuación

$$Pd = \frac{C_{m\acute{a}x} \cdot Da}{C_{BAT}} \times 100 \quad (\text{Ecuaci3n 3})$$

D3nde:

Pd = profundidad de descarga (%)

Intensidad de corriente del panel

$$Ic = \frac{n \cdot Pn}{Tn} \quad (\text{Ecuaci3n 4})$$

D3nde:

Ic = corriente del panel (A)

n = rendimiento del panel (%)

Pn = potencia del panel (W)

Corriente requerida en el sistema

$$Ecc = Ic \times Hd \quad (\text{Ecuaci3n 5})$$

D3nde:

Ecc = corriente requerida por el panel al d3a (Ah)

Hd = horas de trabajo al d3a

La capacidad que requiere el sistema se expresa en la siguiente ecuaci3n

$$CMR = 100 \times \left(\frac{E_{cc}}{CMD} \right) \quad (\text{Ecuaci3n 6})$$

D3nde:

CMR = Capacidad requerida en (Ah)

CMD = ciclada m3xima diario, valor dado por el fabricante entre 10 - 30%

Bater3as en paralelo en esta configuraci3n se tiene el mismo voltaje de cada bater3a (12 v) y se suma intensidad de corriente

$$Nbp = \frac{CMR}{Cbs} \quad (\text{Ecuaci3n 7})$$

D3nde:

Nbp = n3mero de bater3as en paralelo

Cbs = capacidad de la bater3a seleccionada en Ah

Baterías en serie en esta configuración tenemos sumados los voltajes de las baterías (24 v) y una intensidad de corriente igual de cada batería

$$Nbs = \left(\frac{Tn}{Tnb} \right) \quad (\text{Ecuación 8})$$

Dónde:

Nbs = número de baterías en serie

Tnb = voltaje nominal de la batería

El número total de baterías en paralelo y serie viene dado por la ecuación

$$Ntb = Nbs \times Nbp \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

Ntb = número total de baterías

Cálculo de la autonomía de la batería este cálculo se lo realiza para saber qué tiempo trabajaría nuestro sistema suponiendo que no habría radiación solar.

$$Ta = \frac{H}{\left(\frac{IH}{C_{BAT}} \right)^K} \quad (\text{Ecuación 10})$$

Dónde:

Ta = tiempo de autonomía en horas

H = tiempo en horas indicado por el fabricante se indica 20H

I = es la intensidad de corriente que solicitaremos de la batería en A (amperios)

C_{bat} = es la capacidad de la batería en AH (amperios – hora)

K = es el exponente de Peukert este valor está comprendido entre 1.1 (para baterías de gel de buena calidad) y 1.3 (para las de plomo –ácido).

2.2 Panel solar

Los paneles fotovoltaicos (figura 5) están formados por numerosas celdas que convierten la luz en electricidad. Las celdas a veces son llamadas células fotovoltaicas, del griego "fotos", luz. Estas celdas dependen del efecto fotovoltaico por el que la energía luminosa produce cargas positiva y negativa en dos semiconductores próximos de diferente tipo, produciendo así un campo eléctrico capaz de generar una corriente.

Los paneles fotovoltaicos, además de producir energía que puede alimentar una red eléctrica terrestre, pueden emplearse en vehículos eléctricos y barcos solares. Cuando es

expuesto a luz solar directa, una celda de Silicio de 6 cm de diámetro puede producir una corriente de alrededor 0,5 amperios a 0,5 voltios (equivalente a un promedio de 90 W/m², en un rango de usualmente 50-150 W/m², dependiendo del brillo solar y la eficacia de la celda). El Arseniuro de Galio es más eficaz que el Silicio, pero también más costoso. (http://es.wikipedia.org/wiki/Panel_fotovoltaico)

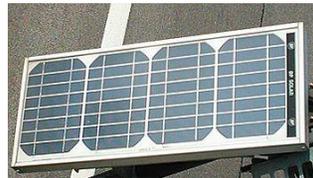


Figura 5. Panel fotovoltaico

Principios teóricos de funcionamiento: Algunos de los fotones, que provienen de la radiación solar, impactan sobre la primera superficie del panel, penetrando en este y siendo absorbidos por materiales semiconductores, tales como el silicio o el arseniuro de galio., Los electrones, subpartículas atómicas que forman parte del exterior de los átomos, y que se alojan en orbitales de energía cuantizada, son golpeados por los fotones (interaccionan) liberándose de los átomos a los que estaban originalmente confinados. Esto les permite, posteriormente, circular a través del material y producir electricidad. Las cargas positivas complementarias que se crean en los átomos que pierden los electrones, (parecidas a burbujas de carga positiva) se denominan huecos y fluyen en el sentido opuesto al de los electrones, en el panel solar.

Un conjunto de paneles solares transforman la energía solar (energía en forma de radiación y que depende de la frecuencia de los fotones) en una determinada cantidad de corriente continua, también denominada DC (acrónimo del inglés Direct Current y que corresponde a un tipo de corriente eléctrica que se describe como un movimiento de cargas en una dirección y un sólo sentido, a través de un circuito. Los electrones se mueven de los potenciales más bajos a los más altos). (www.wikipedia.org/Panel_fotovoltaico).

2.2.1 Eficiencia en la conversión de energía

La eficiencia de una célula solar (η , "eta"), es el porcentaje de potencia convertida en energía eléctrica de la luz solar total absorbida por un panel, cuando una célula solar está

conectada a un circuito eléctrico. Este término se calcula usando la relación del punto de potencia máxima, P_m , dividido entre la luz que llega a la celda irradiancia (E , en W/m^2), bajo condiciones estándar (STC) y el área superficial de la célula solar (A_c en m^2).

$$\eta = \frac{P_m}{E \times A_c} \quad (\text{Ecuación 11})$$

La STC especifica una temperatura de $25\text{ }^\circ\text{C}$ y una irradiación de 1000 W/m^2 con una masa de aire espectral de 1,5 (AM 1,5). Esto corresponde a la irradiación y espectro de la luz solar incidente en un día claro sobre una superficie solar inclinada con respecto al sol con un ángulo de $41,81^\circ$ sobre la horizontal.

El verdadero problema con los paneles fotovoltaicos es el costo de la inversión, como se puede ver en el artículo sobre la ganancia neta de energía, requiriendo hasta más de 10 años (de una vida útil de 40 años o más) para recuperar el coste inicial y generar ganancias.

2.2.2 Fabricación de paneles convencionales

Generalmente se elaboran de silicio, el elemento que es el principal componente de la sílice, el material de la arena. Actualmente, la producción mundial de células fotovoltaicas se concentra en Japón (48%), Europa (27%) y EEUU (11%). El consumo de silicio en 2004 destinado a aplicaciones fotovoltaicas ascendió a 13.000 toneladas.

En España las principales empresas instaladoras de paneles fotovoltaicos (figura 6) son T-Solar, Fotowatio, Renovalia y Solaria. Actualmente muchos gobiernos del mundo (Alemania, Japón, EEUU, España, Grecia, Italia, Francia,) están subvencionando las instalaciones con un objetivo estratégico de diversificación y aumento de las posibilidades tecnológicas preparadas para crear electricidad de forma masiva.

La gran mayoría de las instalaciones conectadas a red están motivadas por primas muy elevadas a la producción, pagándose al productor 5 o 6 veces el costo de la energía eléctrica generada por vías tradicionales, o mediante incentivos fiscales, lo que ha generado críticas desde grupos favorables a un mercado libre de generación eléctrica. (Wikipedia paneles solares)



Figura 6. Paneles solares

CAPITULO III CÁLCULO Y NORMAS DE ILUMINACIÓN DE VÍAS PÚBLICAS

3.1 Cálculo estructural

La construcción de una nueva máquina se realiza bien por su necesidad actual o bien por su necesidad futura. El proceso de construcción de una máquina puede descomponerse en cuatro fases

Diseño en el que se lleva a cabo la concepción de la máquina capaz de adaptarse en principio a las exigencias que se le plantean. Es una fase creativa en la que el ingenio y la experiencia son precisos. Es quizás la fase más ilusionante del proceso pues el autor responde al reto que se les ha presentado.

Proyecto en el que se realizan los cálculos y dimensionamientos precisos que permiten el funcionamiento continuado y sin problemas de la máquina. Es la fase más técnica ya que en ella se aplican un conjunto de normas y métodos, adquiridos mediante el estudio y la experiencia. En esta fase el autor se le exige una formación integral en los aspectos técnicos y agronómicos que deben caracterizarle.

Construcción en esta fase una vez terminado el diseño y realizados los cálculos necesarios para un funcionamiento racional de la máquina se procede a la construcción de la misma. Para que esta fase se desarrolle de forma adecuada es preciso que el autor tenga además de una buena formación en cuanto a materiales y a sus características de uso un elevado nivel de conocimientos de tecnología de taller, de las máquinas herramientas y de su utilización correcta.

Ensayo con él se hace una comprobación de los principios usados en la concepción de la máquina, de los materiales seleccionados en su construcción de su funcionamiento y de las características de su funcionamiento.

Es interesante señalar que la idea concebida inicialmente en la mayoría de los casos es muy distinta del modelo construido pues al realizar el proyecto surgen condicionantes diversas que originan modificaciones y perfeccionamientos que hacen incluso aparecer varias soluciones. Imperativos normalmente económicos y de tiempo obligan a adoptar la solución que parezca más preferible.

3.1.1 Esfuerzo simple de compresión

En general, cuando se somete un material a un conjunto de fuerzas se produce tanto flexión, como cizallamiento o torsión, todos estos esfuerzos conllevan la aparición de tensiones tanto de tracción como de compresión. Aunque en ingeniería se distingue entre el esfuerzo de compresión (axial) y las tensiones de compresión. Esfuerzo a que está sometido y viene dado por la siguiente ecuación.

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde:

σ = tensión de compresión (N/m²)

P = carga (N)

A = sección transversal (m²)

3.1.2 Momento flector

El problema de dimensionado, atendiendo exclusivamente a la flexión, exige el conocimiento de los valores que adopta el momento flector en cada sección de la viga. Vamos, por tanto, a determinar los momentos flectores insistiendo especialmente en su valor máximo, en diversos casos isostáticos de sustentación y carga.

Como norma general, la determinación de momentos implica el conocimiento de todas las fuerzas que actúan sobre el sistema: en los casos que vamos a considerar se conocen directamente las cargas exteriores y hay que calcular las equilibrantes. Estas últimas, se hallarán imponiendo las condiciones del equilibrio estático. Trataremos, a modo de ejemplo, los siguientes casos de sustentación:

- ✓ Viga simplemente apoyada.
- ✓ Viga en voladizo.

Viga simplemente apoyada

En todos los casos que se estudian a continuación se supone el peso propio de la viga despreciable respecto a las cargas que actúan sobre la misma.

- Carga centrada y concentrada

Determinación de las reacciones:

Condición de componente vertical nula: $R_A + R_B - P = 0$

Tomando momentos respecto del punto medio: $R_A \cdot (l/2) - R_B \cdot (l/2) = 0$

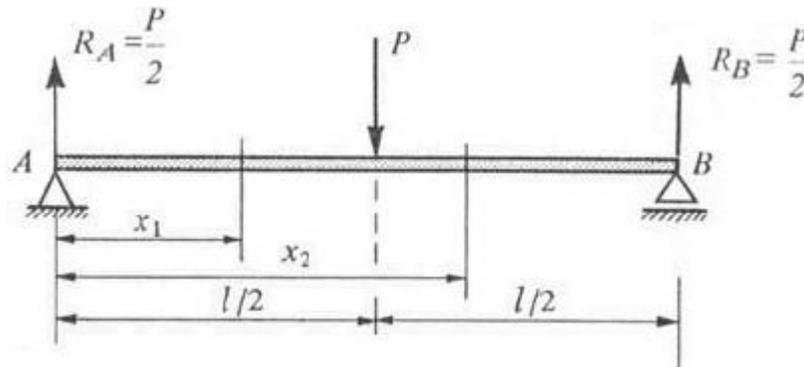


Figura 7 diagrama de fuerzas distribuidas



Figura 8 diagrama de momentos flectores

De dónde: $R_A = R_B = P/2$

Ley de momentos flectores

$$M_{x1} = R_A x = \frac{P}{2} x \quad \text{Válida en} \quad 0 \leq x \leq \frac{l}{2}$$

$$M_{x2} = R_A x - P \left(x - \frac{l}{2} \right) = \frac{P}{2} (l - x) \quad \text{Para} \quad \frac{l}{2} \leq x \leq l$$

El momento flector máximo se presentará en el punto medio de la viga como se muestra en la figura 8 (obsérvese que se trata de un máximo absoluto y, por tanto, la primera derivada no es nula). Su valor se obtendrá haciendo $x = l/2$ en las dos ecuaciones anteriores

$$M_{\text{máx}} = \frac{Pl}{4} \quad (\text{Ecuación 13})$$

Dónde:

$M_{\text{máx}}$ = momento flector máximo (N.m)

P = fuerza (N)

L = longitud de la viga (m)

- **Carga descentrada y concentrada**

El momento flector máximo tendrá lugar en la sección en la que está aplicada la carga y su valor se obtiene haciendo $x = a$ en cualquiera de las ecuaciones de momentos:

$$M \text{ máx} = \frac{P \cdot a \cdot b}{L} \quad (\text{Ecuación 14})$$

- **Carga uniformemente repartida**

Para hallar el momento flector máximo igualaremos a cero la primera derivada, en virtud de la continuidad de la función en toda la viga:

$$\frac{dM}{dx} = \frac{P \cdot L}{2} - px = 0 \quad \text{entonces} \quad x = \frac{L}{2}$$

Valor que sustituido en la ley de momentos nos da:

$$M \text{ máx} = \frac{P \cdot L^2}{8} \quad (\text{Ecuación 15})$$

3.1.3 deformación

Los diagramas tensión deformación permiten estudiar el comportamiento de un determinado material cuando se somete a la acción de una carga estática es decir de una carga que aumenta de forma muy lenta.

La característica de un material que le permite soportar deformaciones inelásticas superiores al límite elástico se le denomina plasticidad y en la curva tensión – deformación se manifiesta porque aparece una región elástica seguida de una plástica. Para calcular la deflexión de un material de carga centrada y concentra viene dada por la ecuación. (Ortiz Berrocal)

$$\delta = \frac{P \cdot L^3}{48EI} \quad (\text{Ecuación 16})$$

Dónde:

δ = deflexión máxima (mm)

P = fuerza (N)

L = longitud de la viga (m)

E = módulo de elasticidad (Kg/cm²)

I = momento de inercia (cm⁴)

3.1.4 fuerza del viento

Al variar la presión atmosférica se producen corrientes de aire. El viento es simplemente aire en movimiento con respecto a la superficie terrestre y su componente es horizontal (los movimientos de aire en sentido vertical suelen llamarse corrientes ascendentes y descendentes de convección). Se origina por las diferencias de presión atmosférica: al ejercer el aire más peso en un lugar que en otro, la diferencia de pesos (un peso es una fuerza) hace que el aire se mueva y se produzca viento.

El viento siempre fluye desde los centros de alta presión (anticiclones) hacia los de baja presión (depresiones) y su fuerza es tanto mayor cuanto mayor es el desnivel de presiones. A escala planetaria la circulación del viento transfiere calor. En la superficie, el viento viene definido por dos parámetros: su dirección en el plano horizontal y su velocidad. La veleta indica la dirección del viento y el anemómetro mide su velocidad, que se expresa en km/h o nudos. La presión del viento origina una presión dinámica que viene expresada por la ecuación (Microsoft Encarta)

$$P_v = \frac{\gamma V^2}{2g} \quad (\text{Ecuación 17})$$

Dónde:

P_v = presión del viento en el panel (kg/m^2)

$\gamma = (1,2 \text{ kg/m}^3)$ densidad media del aire

V = velocidad del viento en (m/s)

$g = (9,81 \text{ m/s}^2)$ aceleración de la gravedad

La presión dinámica del viento multiplicado por la superficie que presenta el panel al viento será la carga del panel al viento y se expresa en Newton ($1 \text{ kg} = 9.81 \text{ N}$) y viene dado por la siguiente ecuación (Ramiro Álvarez)

$$Q = P_v \times S \quad (\text{Ecuación 18})$$

Dónde:

Q = Carga del panel al viento (N)

S = área del panel en (m^2)

El momento flector que origina el panel en el punto de anclaje del mástil será:

$$M_a = Q \times L_m \quad (\text{Ecuación 19})$$

Dónde:

M_a = momento flector (N.m)

L_m = longitud en (m) desde el punto de anclaje del mástil y el punto de anclaje superior del panel.

3.2 Normas de alumbrado público

Cuando un sistema de alumbrado público sea diseñado y construido, se considera para fines de aplicación que la Densidad de Potencia Eléctrica de Alumbrado (DPEA) máxima permisible no exceda lo establecido en las siguientes tablas, y que además cumple con los valores indicados. Las unidades de DPEA son W/m^2 . La determinación de la DPEA será calculada a partir de la carga total conectada de alumbrado y del área total por iluminar, de acuerdo a la ecuación siguiente.

$$DPEA = \frac{C_a}{A_i} \quad (\text{Ecuación 20})$$

Dónde:

DPEA = densidad de potencia eléctrica de alumbrado (W/m^2)

C_a = carga total conectada para alumbrado (W)

A_i = área total iluminada (m^2)

Tabla 3: valores de iluminancia para diferente tipo de ancho de calles

Valores máximos de DPEA para vialidades (W/m^2)				
Nivel de Iluminancia (lx)	Densidad de potencia Ancho de calle (m)			
	6 a 8	9.0	10.5	12.0
3	0.26	0.23	0.19	0.17
4	0.32	0.28	0.26	0.23
5	0.35	0.33	0.30	0.28
6	0.41	0.38	0.35	0.31
7	0.49	0.45	0.42	0.37
8	0.56	0.52	0.48	0.44
9	0.64	0.59	0.54	0.50
10	0.71	0.66	0.61	0.56
11	0.79	0.74	0.67	0.62
12	0.86	0.81	0.74	0.69
13	0.94	0.87	0.80	0.75
14	1.01	0.95	0.86	0.81

15	1.06	1.00	0.93	0.87
16	1.10	1.07	0.99	0.93
17	1.17	1.12	1.03	0.97
18	1,26	1,20	1,10	1,04
19	1,33	1,26	1,17	1,10
20	1,39	1,33	1,23	1,16
21	1,46	1,39	1,29	1,22

Fuente: Normas de Comisión Internacional de iluminación CIE-140

Según la NOM-001, se permite que las autopistas y carreteras puedan estar o no iluminadas, sin embargo se deben iluminar los tipos restantes de clasificaciones de alumbrado público:

- Vías principales y eje viales
- Vías colectoras o primarias
- Vías secundarias
- Túneles
- Estacionamientos

A excepción de pasos a desnivel peatonales, alumbrado de emergencia e instalaciones temporales, no se permite el uso de lámparas incandescentes, fluorescentes, tungsteno-halógeno, vapor de mercurio y luz mixta para el alumbrado público.

3.2.1 Vías vehiculares.

Los criterios que se deben tener en cuenta para asignar una clasificación de iluminación están asociados a las características de las vías, siendo las principales: la velocidad de circulación y el número de vehículos. Toda vía caracterizada con estas dos variables se les asignará un tipo de iluminación conforme a la siguiente tabla.

Tabla 4 clases de iluminación para vías vehicular

Clase de iluminación	Descripción vía	Velocidad de circulación (km/h)		Tránsito de vehículos T (veh/h)	
M1	Autopistas y carreteras	Extra alta	V > 80	Muy importante	T > 1000
M2	Vías de acceso controlado y vías	alta	60 < V < 80	importante	500 < T < 1000

	rápidas				
M3	Vías de acceso controlado y vías rápidas	media	$30 < V < 60$	media	$250 < T < 1000$
M4	Vías de acceso controlado y vías rápidas	reducida	$V < 30$	reducida	$100 < T < 250$
M5	Vías de acceso controlado y vías rápidas	Muy reducida	Al paso	Muy reducida	$T < 100$

Fuente: Normas de Comisión Internacional de iluminación CIE-140

Otros factores a tener en cuenta son la complejidad de la circulación, controles del tráfico tipos de usuarios de las vías y existencia de separadores. En tal sentido y por criterios de uso racional y eficiente de energía, una vía podrá disponer, en ciertas horas, de un alumbrado con clasificación inferior a la resultante de la aplicación de la tabla 4

3.2.2 clases de iluminación para diferentes zonas de aplicación

Conocidas las características de las vías y sus requerimientos visuales, se deberá asignar la clase de iluminación necesaria. A cada clase de iluminación se le establecen los requisitos fotométricos mínimos mantenidos a través del tiempo, los cuales se condensan en la Tabla 5 para luminancia, cuando este es el criterio aplicado. Los valores son para piso seco. Cuando se aplica el criterio de iluminancia se deberá considerar la siguiente tabla

Tabla 5 Requisitos fotométricos mantenidos por clase de iluminación para tráfico motorizado con base en la luminancia de la calzada

Clase de iluminación	Zona de aplicación				
	Todas las vías			Vías sin o con pocas intersecciones	Vías con calzadas peatonales no iluminadas
	Luminancia promedio L_{prom} (cd/m ²) mínimo mantenido	Factor de uniformidad U_0 mínimo	Incremento de umbral TI% Máximo inicial	Factor de uniformidad longitudinal de luminancia U_l mínimo	Relación de alrededores SR mínimo
M1	2,0	0,4	10	0,5	0,5
M2	1,5	0,4	10	0,5	0,5
M3	1,2	0,4	10	0,5	0,5
M4	0,8	0,4	15	N.R	N,R
M5	0,6	0,4	15	N.R	N.R

Fuente: Normas de Comisión Internacional de iluminación CIE-140

Cuando se aplica el criterio de iluminancia se deberá considerar la siguiente tabla.

Tabla 6 valores mínimos mantenidos de iluminancias promedio (lx) en vías motorizadas

Clase de iluminación	Valor promedio (mínimo mantenimiento) de iluminancia según tipo de superficie de la vía (luxes)			Uniformidad de la iluminancia
	R1	R2 y R3	R4	E_{min} / E_{prom} (%)
M1	21	26	22	40%
M2	15	20	18	40%
M3	12	17	15	34%
M4	8	12	10	25%
M5	6	9	8	18%

Fuente: Normas de Comisión Internacional de iluminación CIE-140

NOTA La publicación CIE-140 no contempla como elemento determinante del deslumbramiento de incomodidad argumentando incertidumbre en su cálculo y deficiencias en su aplicación práctica. Es necesario resaltar que los valores anteriores se calculan para condiciones estables de funcionamiento a través del tiempo de vigencia del proyecto, con excepción del TI que solamente se calcula y se verifica para la condición inicial del proyecto. Es por tanto necesario considerar en el diseño de iluminación los factores de depreciación luminosa incidentes en los parámetros anteriores, los cuales se condensan en un solo resultado final conocido como el Factor de Mantenimiento (FM).

3.2.3 Localización de luminarias

Al iniciar un diseño de iluminación es necesario conocer las disposiciones que tiene el municipio que para los diferentes operadores de servicios públicos, en cuanto a la localización de los postes y redes de energía así como la red de alumbrado público, respecto al costado donde deben colocarse en la malla vial local, y si existe alguna restricción para la colocación de los postes exclusivos de alumbrado público en la malla arterial tanto principal como complementaria. La localización de las luminarias en la vía está relacionada con su patrón de distribución, con los requerimientos lumínicos de la vía, con la altura de montaje (H) de las luminarias, con el perfil de la vía, la proximidad a redes de AT, MT (en donde se deberán cumplir las normas (CIE 115) de distancias mínimas de seguridad, líneas férreas, mobiliario urbano, etc.

Aparte de estas consideraciones, la altura de montaje se relaciona con las facilidades para el mantenimiento y el costo de los apoyos. La interdistancia de localización de los postes de alumbrado será la que resulte del estudio fotométrico de iluminación de la vía y primara sobre la distancia de ubicación de los elementos del mobiliario urbano (árboles, sillas, canecas para basura, bolardos, cicloparqueos, etc.).

Las interdistancias sólo se deben disminuir debido a obstáculos insalvables, como por ejemplo sumideros de alcantarillas, rampas de acceso a garajes existentes, interferencia con redes de servicios públicos existentes y que su modificación resulte demasiado onerosa comparada con el sobre costo que representa el incremento del servicio de alumbrado

público. Se debe buscar obtener interdistancias más elevadas mediante la utilización secuencial de las siguientes alternativas:

- Escoger la luminaria más apropiada.
- calibrar el reglaje de la luminaria para aumentar su dispersión
- Aumentar la inclinación de la luminaria (pasando de 0° hasta 20°);
- Utilizar brazos con mayor longitud y por tanto de mayor alcance.
- Aumentar la longitud del brazo para que el avance de la luminaria sobre la calzada sea mayor;

3.2.4 Configuraciones básicas de localización de puntos de iluminación.

Conocidas las características de las vías y las propiedades fotométricas de las luminarias, el diseñador deberá aplicar la configuración que mejor resuelva los requerimientos de iluminación, podrá tener en cuenta la recomendación de la siguiente tabla tomada de la CIE.

Tabla 7 Recomendación para disposición de luminarias.

Clase de iluminación	Altura (m)	Relación S/H	Disposición de las luminarias	
			criterio	disposición
M1	12 - 14	3,5 - 4	Dos carriles de circulación	unilateral
M2	10 - 12	3,5 - 4	Dos carriles de circulación	unilateral
M3	8,5 - 10	5,3 - 4	Ancho de la calzada menor	unilateral
M4	7 - 9	3,5 - 4	unilateral	
M5	6	3,5 - 4	A criterio del diseñador	

Fuente: Normas de Comisión Internacional de iluminación CIE-115

3.2.5 Disposición de las luminarias en la vía

Para conseguir una buena iluminación, no basta con realizar los cálculos, debe proporcionarse información extra que oriente y advierta al conductor con suficiente antelación de las características y trazado de la vía. Así en curvas es recomendable situar las farolas en la exterior de la misma, en autopistas de varias calzadas ponerlas en la mediana o cambiar el color de las lámparas en las salidas como se observa en la figura 9.

En los tramos rectos de vías con una única calzada existen tres disposiciones básicas: unilateral, bilateral tresbolillo y bilateral pareada. También es posible suspender la luminaria de un cable transversal pero sólo se usa en calles muy estrechas.

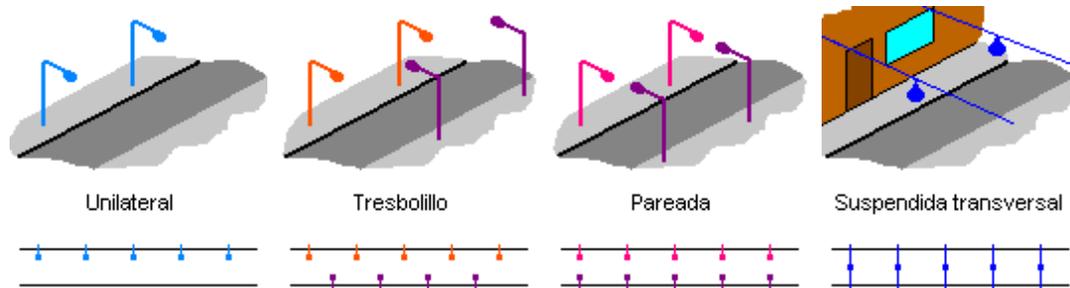


Figura 9. Disposición del alumbrado en las vías

La distribución unilateral se recomienda si la anchura de la vía es menor que la altura de montaje de las luminarias. La bilateral tresbolillo si está comprendida entre 1 y 1.5 veces la altura de montaje y la bilateral pareada si es mayor de 1.5. (Alumbrado público)

Tabla 8. Relación entre el ancho y alto del montaje

	Relación entre la anchura de la vía y la altura de montaje
Unilateral	$A/H < 1$
Tresbolillo	$1 \leq A/H \leq 1.5$
Pareada	$A/H > 1.5$
Suspendida	Calles muy estrechas

Fuente: [www.calculo de alumbrado público/curs/llum/interior/vias_p.html](http://www.calculo-de-alumbrado-publico/curs/llum/interior/vias_p.html)

En el caso de tramos rectos de vías con dos o más calzadas separadas por una mediana se pueden colocar las luminarias sobre la mediana o considerar las dos calzadas de forma independiente como se observa en la gráfica 10. Si la mediana es estrecha se pueden colocar farolas de doble brazo que dan una buena orientación visual y tienen muchas ventajas constructivas y de instalación por su simplicidad. Si la mediana es muy ancha es preferible tratar las calzadas de forma separada. Pueden combinarse los brazos dobles con la disposición al tresbolillo o aplicar iluminación unilateral en cada una de ellas. En este último caso es recomendable poner las luminarias en el lado contrario a la mediana porque de esta forma incitamos al usuario a circular por el carril de la derecha.

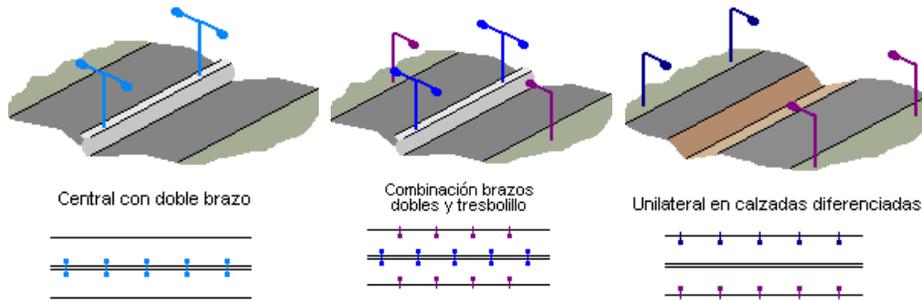
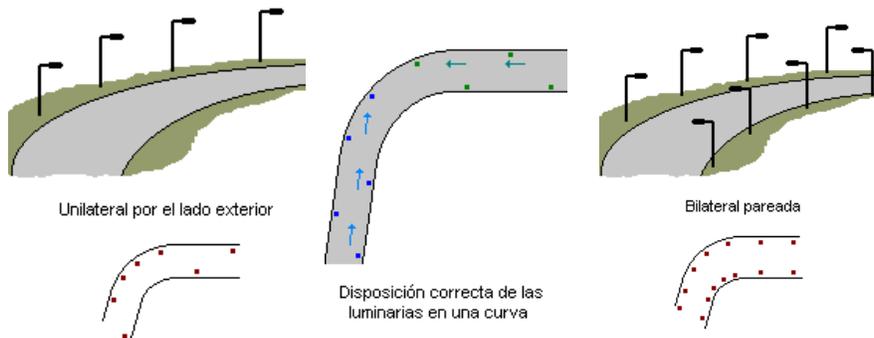


Figura 10. Vías con parterres

En tramos curvos las reglas a seguir son proporcionar una buena orientación visual y hacer menor la separación entre las luminarias cuanto menor sea el radio de la curva. Si la curvatura es grande ($R > 300$ m) se considerará como un tramo recto. Si es pequeña y la anchura de la vía es menor de 1.5 veces la altura de las luminarias se adoptará una disposición unilateral por el lado exterior de la curva (figura 11). En el caso contrario se recurrirá a una disposición bilateral pareada, nunca tresbolillo pues no informa sobre el trazado de la carretera.



$R > 300$ m	Asimilar a un tramo recto	
$R < 300$ m	$A/H < 1.5$	Unilateral exterior
	$A/H > 1.5$	Bilateral pareada

Figura 11. Vías con curvas

En cruces conviene que el nivel de iluminación sea superior al de las vías que confluyen en él para mejorar la visibilidad. Asimismo, es recomendable situar las farolas en el lado

derecho de la calzada y después del cruce (figura 12). Si tiene forma de T hay que poner una luminaria al final de la calle que termina. En las salidas de autopistas conviene colocar luces de distinto color al de la vía principal para destacarlas. En cruces y bifurcaciones complicados es mejor recurrir a iluminación con proyectores situados en postes altos, más de 20 m, pues desorienta menos al conductor y proporciona una iluminación agradable y uniforme.

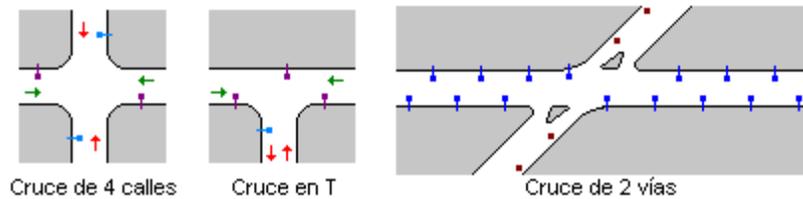


Figura 12. Vías en plazas y glorietas

En las plazas y glorietas se instalarán luminarias en el borde exterior de estas para que iluminen los accesos y salidas como se indica en la figura 13. La altura de los postes y el nivel de iluminación será por lo menos igual al de la calle más importante que desemboque en ella. Además, se pondrán luces en las vías de acceso para que los vehículos vean a los peatones que crucen cuando abandonen la plaza. Si son pequeñas y el terraplén central no es muy grande ni tiene arbolado se puede iluminar con un poste alto multibrazo. En otros casos es mejor situar las luminarias en el borde del terraplén en las prolongaciones de las calles que desemboca en esta.

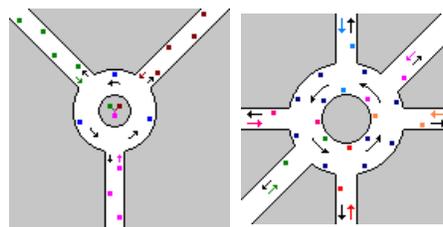


Figura 13. Vías en redondeles

En los pasos de peatones las luminarias se colocarán antes de estos según el sentido de la marcha de tal manera que sea bien visible tanto por los peatones como por los conductores como se muestra en la figura 14.

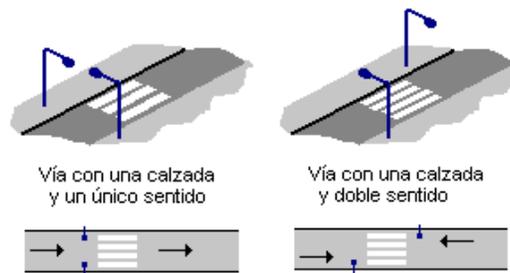


Figura 14. Vías con calzada de doble sentido

Por último, hay que considerar la presencia de árboles en la vía (figura 15). Si estos son altos, de unos 8 a 10 metros, las luminarias se situarán a su misma altura. Pero si son pequeñas las farolas usadas serán más altas que estos, de 12 a 15 m de altura. En ambos casos es recomendable una poda periódica de los árboles.

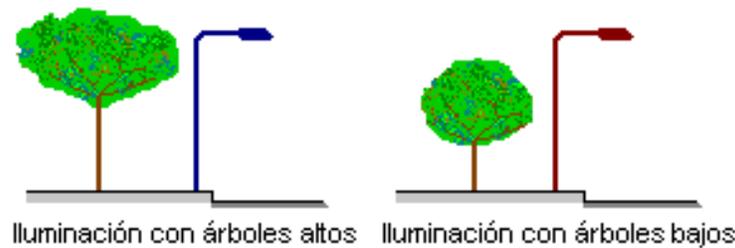


Figura 15. Vías con árboles

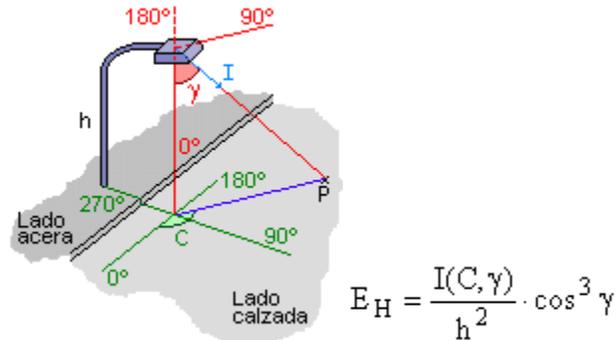
3.2.6 Cálculo para la iluminación de vías públicas

Contrariamente a lo que se pueda pensar, detrás de los cálculos y recomendaciones sobre alumbrado de vías públicas existe un importante desarrollo teórico sobre diferentes temas (pavimentos, deslumbramiento, confort visual, etc.). Afortunadamente, hoy día estos cálculos están muy mecanizados y no es necesario tener profundos conocimientos en la materia para realizarlos ya que existe software de cálculo. No obstante, es recomendable tener nociones de algunos de ellos para comprender mejor la mecánica de cálculo. Así tras estudiar algunos conceptos previos de iluminación, veremos soluciones prácticas de alumbrado viario y los niveles de iluminación recomendados.

La iluminancia indica la cantidad de luz que llega a una superficie y se define como el flujo luminoso recibido por unidad de superficie:

$$E = \frac{d\phi}{ds}$$

Si la expresamos en función de la intensidad luminosa nos queda como:



$$E_H = \frac{I(C, \gamma)}{h^2} \cdot \cos^3 \gamma$$

Figura 16. Ángulo de rayos incidentes

Donde I es la intensidad recibida por el punto P en la dirección definida por el par de ángulos (C, γ) y h la altura del foco luminoso todas estas variables podemos observarlas en la figura 16. Si el punto está iluminado por más de una lámpara, la iluminancia total recibida es entonces:

$$E_H = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i)}{h_i^2} \cdot \cos^3 \gamma_i \quad (\text{Ecuación 21})$$

La luminancia, por contra, es una medida de la luz que llega a los ojos procedentes de los objetos y es la responsable de excitar la retina provocando la visión. Esta luz proviene de la reflexión que sufre la iluminancia cuando incide sobre los cuerpos (figura 17). Se puede definir, pues, como la porción de intensidad luminosa por unidad de superficie que es reflejada por la calzada en dirección al ojo.

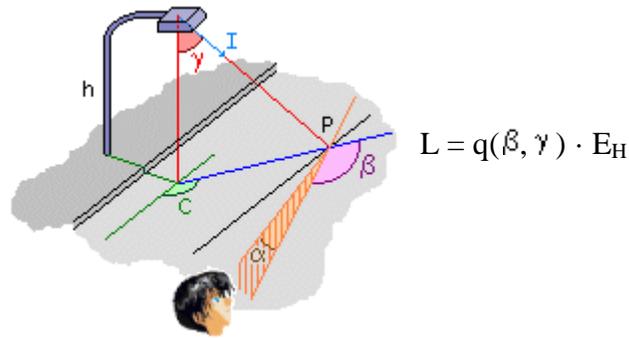


Figura 17. Ángulo de incidencia de la luz

Dónde q es el coeficiente de luminancia en el punto P que depende básicamente del ángulo de incidencia γ y del ángulo entre el plano de incidencia y el de observación β . El efecto del ángulo de observación α es despreciable para la mayoría de conductores (automovilistas con campo visual entre 60 y 160 m por delante y una altura de 1,5 m sobre el suelo) y no se tiene en cuenta. Así pues, nos queda:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma}{h^2} \cdot q(\beta, \gamma)$$

Por comodidad de cálculo, se define el término:

$$r(\beta, \gamma) = q(\beta, \gamma) \cdot \cos^3 \gamma$$

Quedando finalmente:

$$L = \frac{I(C, \gamma) \cdot r(\beta, \gamma)}{h^2}$$

Y si el punto está iluminado por más de una lámpara, resulta:

$$L = \sum_{i=1}^n \frac{I(C_i, \gamma_i) \cdot r(\beta_i, \gamma_i)}{h_i^2} \quad (\text{Ecuación 22})$$

Los valores de $r(\beta, \gamma)$ se encuentran tabulados o incorporados a programas de cálculo y dependen de las características de los pavimentos utilizados en la vía.

3.2.7 Criterios de calidad

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establecen una serie de parámetros que sirven como

criterios de calidad. Son la luminancia media (L_m), los coeficientes de uniformidad (U_0 , U_L), el deslumbramiento (TI y G) y el coeficiente de iluminación de los alrededores (SR).

3.2.7 Coeficientes de uniformidad

Como criterios de calidad y evaluación de la uniformidad de la iluminación en la vía se analizan el rendimiento visual en términos del coeficiente global de uniformidad U_0 y la comodidad visual mediante el coeficiente longitudinal de uniformidad U_L (medido a lo largo de la línea central).

$$U_L = \frac{L_{\min}}{L_{\max}} \quad (\text{Ecuación 23})$$

Dónde:

U_L = Uniformidad longitudinal de la calzada

L_{\min} = Luminancia mínima

L_{\max} = Luminancia máxima

3.2.8 Deslumbramiento

El deslumbramiento producido por las farolas o los reflejos en la calzada, es un problema considerable por sus posibles repercusiones. En sí mismo, no es más que una sensación molesta que dificulta la visión pudiendo, en casos extremos, llegar a provocar ceguera transitoria. Se hace necesario, por tanto, cuantificar este fenómeno y establecer unos criterios de calidad que eviten estas situaciones peligrosas para los usuarios. Se llama deslumbramiento molesto a aquella sensación desagradable que sufrimos cuando la luz que llega a nuestros ojos es demasiado intensa. Este fenómeno se evalúa de acuerdo a una escala numérica como se indica en la tabla 9, obtenida de estudios estadísticos, que va del deslumbramiento insoportable al inapreciable.

Tabla 9. Deslumbramiento

G	Deslumbramiento	Evaluación del alumbrado
1	Insoportable	Malo
3	Molesto	Inadecuado
5	Admisible	Regular

7	Satisfactorio	Bueno
9	Inapreciable	Excelente

Fuente: www.calculo.de.alumbrado.pUBLICO/curs/Ilum/Exterior/vias_p.html

El deslumbramiento perturbador se produce por la aparición de un velo luminoso que provoca una visión borrosa, sin nitidez y con poco contraste, que desaparece al cesar su causa. No obstante, este fenómeno no lleva necesariamente asociado una sensación incómoda como el deslumbramiento molesto. Para evaluar la pérdida de visión se utiliza el criterio del incremento de umbral (TI) expresado en tanto por ciento:

$$TI = 65 \frac{L_v}{(L_m)^{0.5}} \quad (\text{Ecuación 24})$$

Dónde:

Ti = deslumbramiento

L_v = luminancia de velo equivalente

L_m = luminancia media de la calzada.

3.2.9 Coeficiente de iluminación en los alrededores

El coeficiente de iluminación en los alrededores (*Surround Ratio*, SR) es una medida de la iluminación en las zonas limítrofes de la vía. De esta manera se asegura que los objetos, vehículos o peatones que se encuentren allí sean visibles para los conductores. SR se obtiene calculando la iluminancia media de una franja de 5 m de ancho a cada lado de la calzada como se indica en la figura 18.



Figura 18. Iluminación a los alrededores

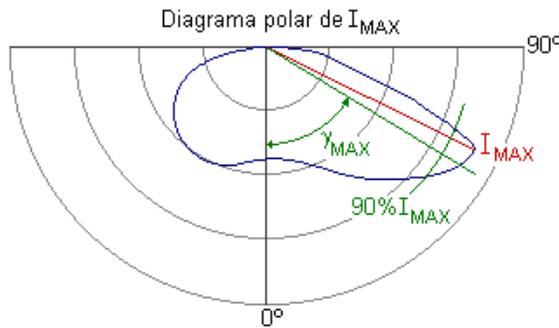
3.2.10 Lámparas y luminarias

Las lámparas son los aparatos encargados de generar la luz. En la actualidad, en alumbrado público se utilizan las lámparas de descarga frente a las lámparas incandescentes por sus mejores prestaciones y mayor ahorro energético y económico. Concretamente, se emplean las lámparas de vapor de mercurio a alta presión y las de vapor de sodio a baja y alta

presión. Las luminarias, por contra, son aparatos destinados a alojar, soportar y proteger la lámpara y sus elementos auxiliares además de concentrar y dirigir el flujo luminoso de esta. Para ello, adoptan diversas formas aunque en alumbrado público predominan las de flujo asimétrico con las que se consigue una mayor superficie iluminada sobre la calzada. Las podemos encontrar montadas sobre postes, columnas o suspendidas sobre cables transversales a la calzada.

En la actualidad, las luminarias se clasifican según tres parámetros (alcance, dispersión y control) como se indica en la tabla 10 que dependen de sus características fotométricas. Los dos primeros nos informan sobre la distancia en que es capaz de iluminar la luminaria en las direcciones longitudinal y transversal respectivamente. Mientras, el control nos da una idea sobre el deslumbramiento que produce la luminaria a los usuarios. El alcance es la distancia, determinada por el ángulo γ_{MAX} , en que la luminaria es capaz de iluminar la calzada en dirección longitudinal. Este ángulo se calcula como el valor medio entre los dos ángulos correspondientes al 90% de I_{MAX} que corresponden al plano donde la luminaria presenta el máximo de la intensidad luminosa. (Alumbrado urbano)

Tabla 10. Alcance longitudinal

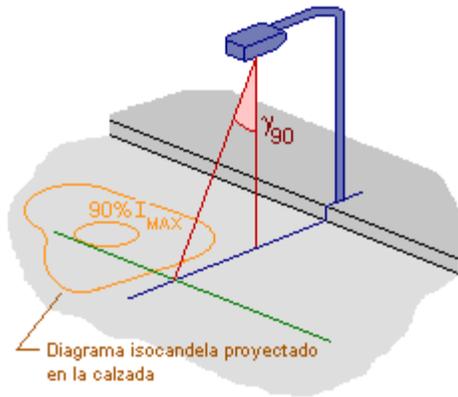


Alcance corto	$\gamma_{MAX} < 60^\circ$
Alcance intermedio	$60^\circ \leq \gamma_{MAX} \leq 70^\circ$
Alcance largo	$\gamma_{MAX} > 70^\circ$

Fuente: [www.calculo de alumbrado público/curs/llum/interior/vias_p.html](http://www.calculo.de.alumbrado.pUBLICO/curs/llum/interior/vias_p.html)

La dispersión es la distancia, determinada por el ángulo γ_{90} , en que es capaz de iluminar la luminaria en dirección transversal a la calzada. Se define como la recta tangente a la curva isocandela del 90% de I_{MAX} proyectada sobre la calzada, que es paralela al eje de esta y se encuentra más alejada de la luminaria.

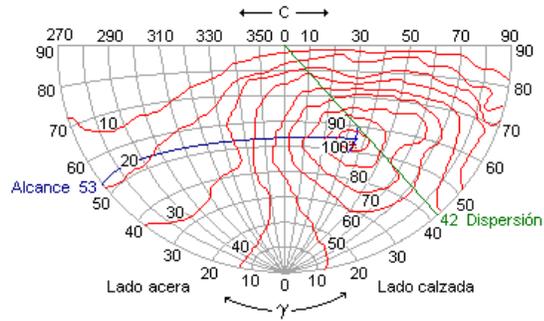
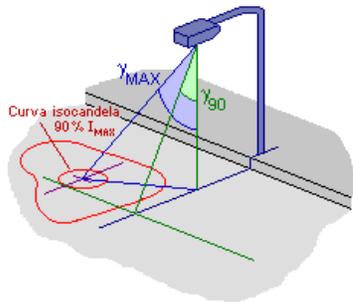
Tabla 11. Dispersión transversal



Dispersión estrecha	$\gamma_{90} < 45^\circ$
Dispersión media	$45^\circ \leq \gamma_{90} \leq 55^\circ$
Dispersión ancha	$\gamma_{90} > 55^\circ$

Fuente: www.calculo.de.alumbrado.público/curs/llum/exterior/vias_p.html

Tanto el alcance como la dispersión pueden calcularse gráficamente a partir del diagrama isocandela relativo en proyección azimutal figura 19.



Alcance y dispersión de una luminaria

Figura 19. Método gráfico para calcular el alcance y la dispersión

Por último, el control (tabla 12) nos da una idea de la capacidad de la luminaria para limitar el deslumbramiento que produce.

Tabla 12. Control de la capacidad de la luminaria

Control limitado	$SLI < 2$
Control medio	$2 \leq SLI \leq 4$
Control intenso	$SLI > 4$

Fuente: www.calculo.de.alumbrado.público/curs/llum/exterior/vias_p.html

CAPITULO IV SOFTWARE DE ILUMINACIÓN DE VÍAS PÚBLICAS

Ahora hablare un poco de Ingeniería que es lo que compete a. DIALux es un software libre para el cálculo, y simulación de Iluminación el cual permite verificar de forma detallada todos los parámetros luminotécnicos:

Hoja de datos de luminarias

- Diagrama de densidad lumínica.
- Diagrama Söllner
- Grado de reflexión
- Gráfico de valores de la iluminancia
- Isolíneas, Etc.

La ventaja de este software es que es muy sencillo de usar su interface es muy amigable con un entorno 2D y 3D (figura 20), para el diseño de un ambiente tanto interno (salones, museos) como externo (parques, calles). Otra de sus ventajas es que se puede cargar archivos DFX de AutoCAD. DIALux te permite instalar plugins de diferentes empresas que ofrecen catálogos de luminarias la cual permite al diseñador escoger el tipo de luminaria que más se acomode a su proyecto y también a su economía.

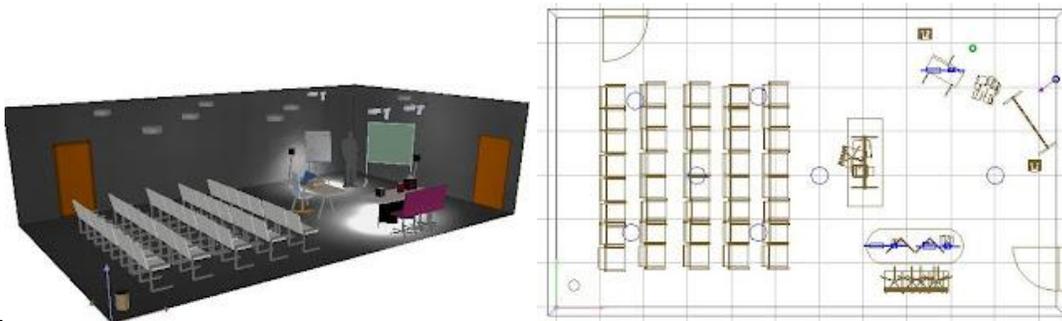


Figura 20 entorno DIALux 3D y 2D

En el proceso de simulación está dividido en cinco etapas:

- Introducción de datos de la planificación.
- Introducción de datos de luminarias.
- Definir características.
- Calcular componentes de iluminancia (directa e interreflejada).
- Mostrar resultados.

4.1 Luminarias.

4.1.1 Instalar datos de luminaria.

DIALux dispone asimismo de un interfaz para catálogos de lámparas. Después de que el usuario ha seleccionado una luminaria en un plugin de luminarias, puede seleccionar también la lámpara adecuada para esta luminaria. Los plugins de luminarias ofrecen únicamente fuentes de luz estándar para las luminarias. La variedad dentro del mercado de lámparas y las diferentes características técnicas de las mismas incluso dentro de la misma tipología hacen necesaria una selección precisa de la lámpara a utilizar en la práctica. Algunos catálogos de luminarias ofrecen directamente la posibilidad de elegir la fuente de luz apropiada para una luminaria en un catálogo de lámparas. En caso de que el fabricante de luminarias no haya integrado esta opción todavía, el usuario puede iniciar esta selección también a partir de DIALux. Los plugins de lámparas, al igual que los plugins de luminarias, deben ser instalados por el usuario. DIALux contiene algunos datos a modo de demostración tanto para luminarias como para lámparas en el banco de datos del usuario “mi banco de datos” y en el plugin de demostración de lámparas de DIALux.

4.1.2 Sobre los catálogos online

DIALux ofrece la posibilidad de utilizar catálogos online. Los catálogos online tienen la ventaja de que Ud. siempre inserta en el proyecto DIALux únicamente las luminarias que necesita en ese momento, sin instalar un plugin completo en su ordenador.

4.1.3 Actualización online de catálogos de luminarias

La lista de los fabricantes que ofrecen catálogos para DIALux como se observa en la figura 21 se amplía continuamente. Puede actualizar esta lista online cómodamente sin instalar nuevas versiones de DIALux. Seleccione en la pestaña de selección de luminarias la carpeta Catálogos de luminarias DIALux o Catálogos no instalados con el botón derecho del ratón y elija a continuación Actualizar lista. DIALux le preguntará si autoriza que se establezca una conexión a Internet. Si responde “sí” a esta pregunta serán actualizados los datos en su ordenador.

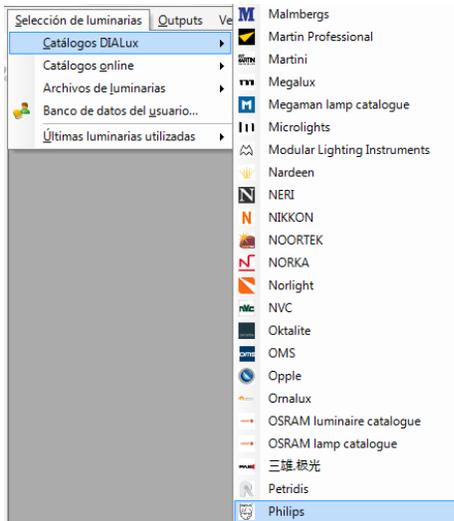


Figura 21 Actualizar catálogo de luminarias

4.2 Asistente de iluminación DIALux Light

Desde la versión 3.1 de DIALux existe el Asistente de iluminación DIALux Light. Con ayuda de este asistente es posible crear proyectos de iluminación de manera fácil y rápida. De esta forma los usuarios que raras veces trabajan con DIALux también pueden utilizarlo sin tener que aprender a utilizar el software completo. Tras la instalación puede encontrar el Asistente de iluminación DIALux Light directamente en su escritorio, al lado del icono “normal” de DIALux. Puede iniciar el asistente haciendo doble clic (figura 22). Si ya ha iniciado DIALux, podrá encontrar el Asistente de iluminación DIALux en el menú Archivo → Asistentes.

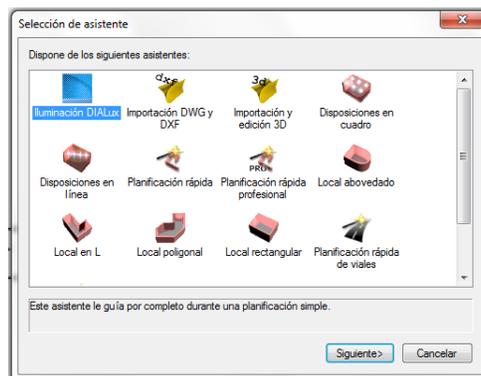


Figura 22 Asistente de iluminación DIALux Light

Tras iniciar el Asistente de iluminación DIALux Light se abre una pantalla de bienvenida como se observa en la figura 23. Aquí se le indican los pasos a seguir. Cuando haya introducido los datos en una ventana pinche, por favor, en Siguiente.

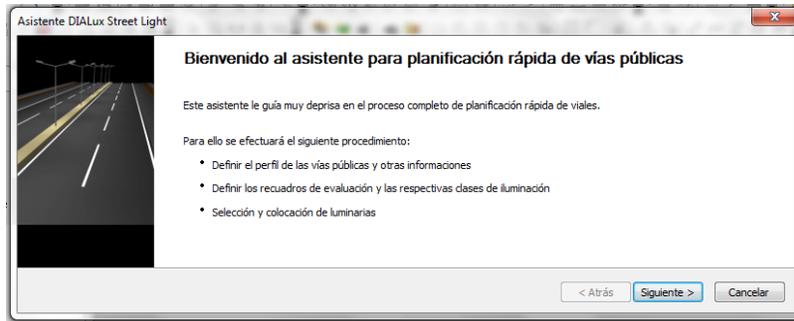


Figura 23 Asistente de iluminación DIALux Light - inicio

Introduzca los datos de la vía en las ventanas de Información sobre el proyecto.

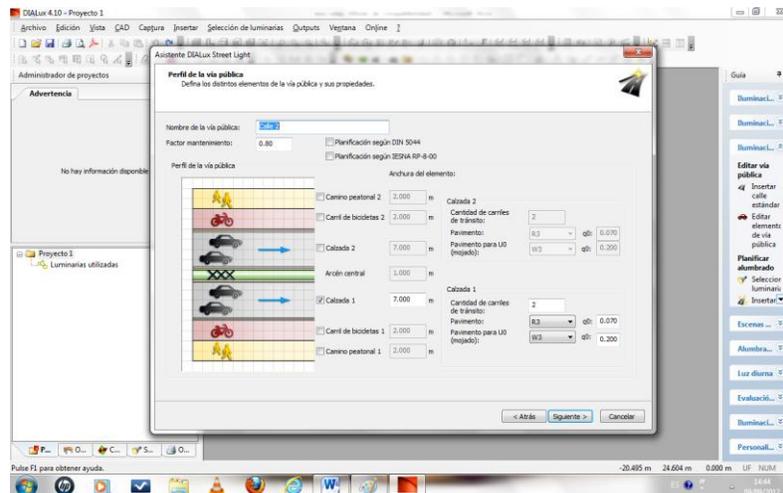


Figura 24 Asistente de iluminación DIALux Light - información del proyecto

En la ventana Entrada de datos figura 24, especifique la geometría de la vía el nombre de la vía pública, factor de mantenimiento el ancho de la vía cuantos carriles tiene, ancho del camino peatonal y tipo de pavimento luego pinche siguiente. En la ventana figura 25 que nos aparece tenemos que escoger el tipo de vía de acuerdo a la norma que se esté utilizando.

Recuadros de evaluación y clases de iluminación

Defina recuadros de evaluación individuales o combinados de la vía pública. Seleccione una clase de iluminación para cada recuadro de evaluación, al objeto de definir los requerimientos fotométricos de la vía pública.



Utilizar un único recuadro de evaluación para todos los elementos.
Clase de iluminación para este recuadro de evaluación: S1 Selección

Diferentes recuadros de evaluación:	Recuadros de evaluación comunes:	Clases de iluminación para distintos recuadros de evaluación:	Clases de iluminación para recuadros de evaluación comunes:
<input type="checkbox"/> Camino peatonal 2	<input type="checkbox"/>	S1 Selección	S1 Selección
<input type="checkbox"/> Carril de bicicletas 2	<input type="checkbox"/>	S1 Selección	S1 Selección
<input type="checkbox"/> Calzada 2	<input type="checkbox"/>	ME1 Selección	ME1 Selección
<input type="checkbox"/> Arcén central	<input type="checkbox"/>	CE2 Selección	ME1 Selección
<input checked="" type="checkbox"/> Calzada 1	<input type="checkbox"/>	ME2 Selección	ME2 Selección
<input type="checkbox"/> Carril de bicicletas 1	<input type="checkbox"/>	S1 Selección	S1 Selección
<input checked="" type="checkbox"/> Camino peatonal 1	<input type="checkbox"/>	S1 Selección	S1 Selección

Figura 25 Evaluación y clase de iluminación

En la figura 26 se indica los parámetros de evaluación que indica las normas como son la luminancia promedio, factor de uniformidad, incremento de umbral factor de uniformidad, relación de alrededores.

Los siguientes recuadros de evaluación están disponibles como base para la optimización:

Recuadro de evaluación Calzada 1 (ME2)

Mediante la clase de iluminación del recuadro de evaluación se definen los requisitos para la optimización.

Parámetros	Valor límite	Unidad	Base
<input checked="" type="checkbox"/> Lm	1.50	cd/m ²	(Luminancia)
<input checked="" type="checkbox"/> U0	0.40		(Luminancia)
<input checked="" type="checkbox"/> UI	0.70		(Luminancia)
<input checked="" type="checkbox"/> TI	10	%	(Luminancia)
<input checked="" type="checkbox"/> SR	0.50		(Iluminancia)

Seleccione todos los parámetros que deban tenerse en cuenta para la optimización.
Adapte, dado el caso, los límites de la clase de iluminación del recuadro de evaluación previamente seleccionado.

Figura 26 Evaluación de la calzada

Luego ponemos siguiente nos aparece la ventana de selección de luminaria en la cual tenemos que escoger la iluminaria que requerimos para nuestra planificación, señalamos en la pestaña que dice catálogos se nos desplaza una lista como se indica en la figura 27 para elegir la que deseamos basta con hacer clic sobre ella.

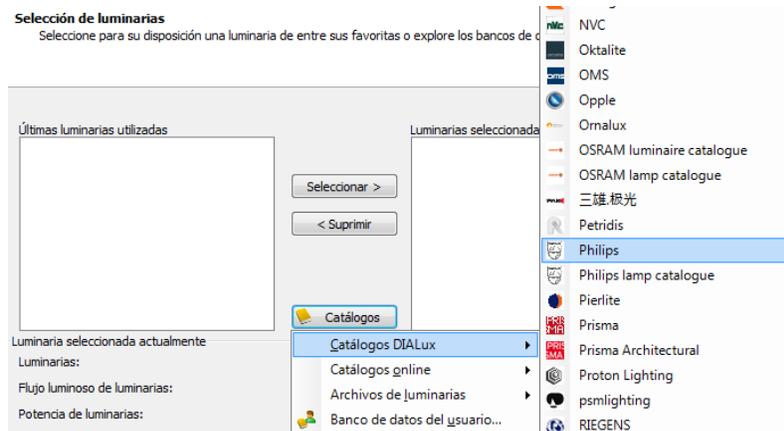


Figura 27 Selección de luminaria

También podemos cargarla si la tenemos en nuestro ordenador vamos donde dice banco de datos del usuario se nos abre una ventana donde ponemos exportar buscamos donde la tenemos guardada en nuestro ordenador la seleccionamos aceptamos y así se guardara en el banco de datos del programa para poder usarla. La seleccionamos aparecen los parámetros de la luminaria como son su fotometría, flujo luminoso potencia como se indica en la figura 28

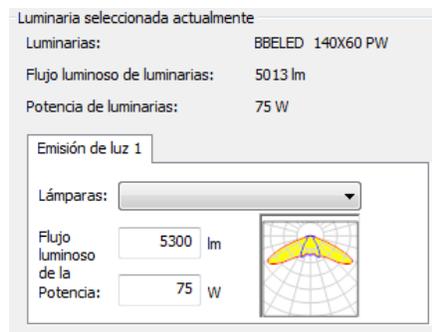


Figura 28 Fotometría de la luminaria Led LU2

Hacemos clic en la pestaña siguiente nos aparece la ventana de parámetros variables de disposiciones en el cual ponemos los valores de diseño de nuestra planificación como se indica en la figura 29.

Parámetros que pueden variar para la optimización:

Parámetros	Mínimo	Máximo	Amplitud de paso	Unidad
<input type="checkbox"/> Distancia entre mástiles				m
<input type="checkbox"/> Altura del punto de luz				m
<input checked="" type="checkbox"/> Saliente del punto de luz	-2.000	1.000	0.500	m
<input type="checkbox"/> Inclinación				°

Número de combinaciones a controlar: 7

Parámetro fijo para la optimización

Distancia entre mástiles: m

Altura del punto de luz: m

Saliente del punto de luz: m

Inclinación: °

Distancia Mástil-Calzada: m Distancia fija

Longitud del brazo: m Longitud fija del brazo

Tipo de disposición: 

Figura 29 Parámetros variables de disposición

Una vez puesto los parámetros colocamos siguiente aparece la ventana de propuestas de disposición en la cual tenemos que elegir de la lista una propuesta para culminar el procedimiento asistido de lo contrario, cancele el asistente en la siguiente figura 30 observamos la ventana de propuestas. (DIALux)

Distribución de las variantes de disposición:
Adecuado: 3, aprox. adecuado: 0, insuficiente: 4

Separación [m]	Altura [m]	Saliente sobre la calzada [m]	Inclinación [°]	Tipo	Lm [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
<input type="checkbox"/> Variantes adecuadas (satisfacen todos los requisitos)									
20.000	9.200	1.000	15	(1)	1.69	0.85	0.86	3	0.71
20.000	9.200	0.500	15	(1)	1.62	0.88	0.86	3	0.76
20.000	9.200	0.000	15	(1)	1.55	0.89	0.85	3	0.80
<input checked="" type="checkbox"/> Variantes insuficientes									
valores...					1.50	0.40	0.70	10	0.50

Quando desee aplicar una propuesta de ubicación, márquela en la lista y complete el procedimiento asistido. De lo contrario, cancele el asistente.

Guardar valores configurados para otras optimizaciones.

Figura 30 propuestas de disposición

Como el programa nos da que la planificación que realizamos está dentro de los parámetros para la vía que queremos iluminar nos salen de negro las opciones cuando los valores salen de rojo quiere decir que uno de los parámetros no cumple con las normas para la iluminación de la vía. Luego colocamos siguiente para finalizar el asistente. En la figura 31 podemos observar los resultados de una simulación de la planificación de la vía.

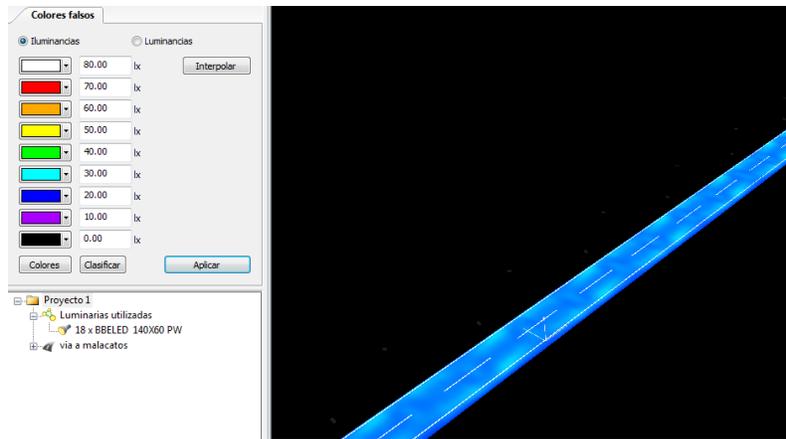


Figura 31 simulaciones de los resultados de una vía

Este software tiene muchas herramientas en las cuales podemos trabajar para darle mayor realismo a nuestras presentaciones. En la parte inferior izquierda podemos hacer clic para ver los resultados en isocintas o tablas.

e.- MATERIALES Y MÉTODOS

e.1 Materiales

- Computador Portátil.
- Impresora a color.
- Cartuchos de tinta para impresión (negro y a color).
- Memorias USB.
- Papel de impresión.
- Implementos de escritorio.

Técnicos:

- Luxómetro
- Lámparas LED de iluminación.
- Paneles solares
- Foto celda
- Baterías
- Conductor de cobre AWG
- Multímetro

Tecnológicos

- Software de simulación DIALux.
- Software Microsoft Office.
- Software de diseño.

e.2 Métodos

- Se recopilara información de cada elemento que se utilizara para el sistema de iluminación fotovoltaico con diodos LED para el alumbrado de vías públicas de circulación vehicular
- Buscaremos en el internet diferentes fabricantes de iluminarias LED para alumbrado de vías públicas.
- Analizar las características de cada iluminaria y elegir la que nos proporcione mejores características para nuestro proyecto.

- Escribir un email al proveedor pidiéndole información técnica de su producto.
- Revisar las características técnicas de los diferentes tipos de baterías que hay en el mercado y elegir la que nos proporcione los 56 w, 12 VCD y soporte continuas cargas y descargas de energía.
- Buscar en el internet la información sobre los reguladores de carga y realizar una comparación de sus parámetros técnicos.
- Revisar los datos del fabricante donde nos indique la orientación de trabajo del panel para su mayor rendimiento.
- Identificar una vía que sea de circulación vehicular y tomar datos de la velocidad de circulación, número de vehículos por hora, carriles, ancho de la vía, material de construcción. etc.
- Leer los parámetros de las normas para ir realizando una distribución de las iluminarias apropiadamente (distancia entre luminarias y altura)
- Adherirse a un curso de capacitación para la simulación de la planificación
- Introducimos en el software DIALux parámetros técnicos de la planificación como son la fotometría de la luminaria, ancho de la vía, ancho de la vereda, inclinación de la luminaria, circulación que es de doble sentido, distancia de los mástiles, tipo de recubrimiento de la vía, que norma vamos a usar luego ponemos que nos calcule los valores de calidad para ver si se encuentran dentro de los parámetros establecidos.

El trabajo de investigación que se desea desarrollar está centrado en el método científico, debido que la investigación surge de hechos observables. Así mismo para la realización de este proyecto se tomara en cuenta un conjunto ordenado de procedimientos como son el método inductivo, deductivo, descriptivo.

e.2.1. Técnicas de trabajo

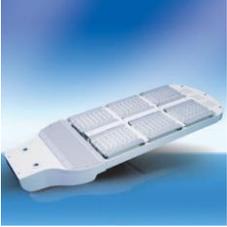
- Se recopilara información de personal técnico relacionado al tema, de catálogos, revistas, libros, Internet, distribuidores comerciales de los equipos.
- Comparamos las luminarias LED para alumbrado de iluminación de vías de circulación vehicular para saber cual nos conviene por sus diferentes características como son el flujo luminoso, potencia, tensión, rendimiento, etc.
- Se realiza el cálculo para saber cuántos paneles y baterías requerimos para brindar la potencia necesaria para nuestra carga.
- Se realizara los cálculos correspondientes para saber si la estructura a soportar los paneles y baterías resiste el peso y fuerzas generadas por el viento.
- Calcular en el software DIALux los parámetros de calidad para la iluminación de vías de circulación vehicular aplicando las normas de la CIE para alumbrado público.
- Adquirir y ensamblar los componentes del prototipo de iluminación.
- verificar de forma experimental con un luxómetro los valores de iluminación de nuestro prototipo trazando un mallado utilizando el método europeo de los 9 puntos.
- Se efectuara una comparación del sistema de iluminación convencional con el alumbrado por LED para analizar su uniformidad.
- Se redactará un documento del proyecto y finalmente socializar el tema de tesis.

f.- RESULTADOS

En los últimos años se ha venido invadiendo la nueva tecnología en iluminación mediante luminarias LED (diodo emisor de luz) en un futuro no muy lejano, en el ámbito de la iluminación, es previsible que la utilización de los LED se incremente, ya que sus aplicaciones son superiores a las lámparas incandescentes y al tubo fluorescente, desde diversos puntos de vista. La iluminación con LED tiene muchas ventajas. Es importante también señalar que diversas pruebas realizadas por importantes laboratorios internacionales y organismos gubernamentales han concluido que el ahorro energético varía entre un 60% y 80% en relación con la iluminación tradicional. Esto es una de las grandes ventajas que los LED ofrecen para el alumbrado público.

Para escoger nuestra luminaria LED para la iluminación de vías de circulación vehicular hicimos una comparación de algunas luminarias que se encuentran en el mercado.

Nombre de la luminaria	Flujo luminoso O eficiencia lumínica	Factor de potencia	voltaje	potencia	Vida útil	información
 CAM	94,3 lum/W	0,95%	110 220 VCA	120W		Chile: (56-2) 3897300 Perú: (511) 2087700
 MAYJA S/L ALUMBRADO	4200 lúmenes	0,9%	110 240 VCA	140W		España 065660300, www.mayja.es

OSRAM 		0,95%		55, 80 y 100 W	70000 hrs	México
Power Lightled 	70lm/W		120 280 VCA			
LU2 	4200 lúmenes		85/265 VCA, 12/24 VDC	75W	50000 hrs	Proviento precio 504 dólares
LU4 	8400 lúmenes		85/265 VCA, 12/24 VDC	112W	50000 hrs	Proviento precio 795,2 dólares
LU6 	12600 lúmenes		85/265 VCA, 12/24 VDC	168W	50000 hrs	Proviento precio 1108,8 dólares Barcelona 14- 136 y Mallorcaz, Quito/Ecuador Tel:(02) 2231844

 <p>The Best Alternative to Incandescent LED Lighting</p> <p>Galaxy</p> <p>DataLights Soluciones de Control e Iluminación</p>	<p>4275, 5325, 6450 lúmenes</p>	<p>0,95%</p>	<p>85-300 VAC</p>	<p>55, 68, 82, 96W</p>	<p>60000 hrs</p>	<p>Precio de la de 55W 1200 dólares dirección: Los Juglares 1-17 y Francisco de Orellana Cuenca/Ecuado r</p>
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------	---------------------------------------------	--------------	-----------------------	--------------------------------	----------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------

Fuente: el Autor

1. Luminaria LED

La luminaria LED que escogimos figura 32 es de origen Chino ya que tiene un precio económico, nos brinda la información que necesitamos, la podemos adquirir dentro del país por medio de la empresa Proviento (Quito), nos da un flujo luminoso 5300 lúmenes, es de corriente continua ideal para combinar con nuestro proyecto economizándonos costos de equipos adicionales para la conversión de corriente continua a corriente alterna. Además cumple con las especificaciones del ministerio de electricidad y energías renovables en las especificaciones técnicas de las luminarias en la revisión 01 del 2010-07-15 como son la instalación de la luminaria debe estar a la intemperie expuesto a lluvia, contaminación atmosférica, polvo e insectos tipo de luminaria horizontal cerrada, tipo horneable para uso de intemperie o pintura epóxica, material aluminio, acero inoxidable, espejos o metalizados plásticos u otros material con un mínimo 99,5% de pureza y 1 mm de espesor, factor de potencia de $0,92 \leq FP \text{ inductivo} \leq 1$ para luminaria con lámpara de vapor de sodio de alta presión, la dimensión del brazo y la inclinación del mismo, se definirán sobre la base del cumplimiento de los parámetros de cálculo establecidos en la CIE-140 y con las recomendaciones fotométricas de la CIE-115.

Los factores fundamentales que se deben tener en cuenta al realizar el diseño de una planificación son la iluminancias requeridas (niveles de flujo luminoso (lux) que inciden en una superficie), la uniformidad de la repartición de las iluminancias, si se habla de niveles de iluminación, en muchos casos existen estudios ya realizados y se rigen en su mayoría

a las normativas de cada país, las mismas que son tomadas dependiendo de las necesidades y tomando en cuenta las recomendaciones que hace la International Commission on Illumination (CIE), aquí en el Ecuador a un no existe una normativa que recomiende o exija un nivel de iluminación estándar dependiendo de la zona a ser iluminada, pero el CONELEC y el Ministerio de Electricidad nos recomienda los parámetros de calidad que evalúa la CIE para este caso se va tomar mucho en cuenta las recomendaciones que hacen organismos internacionales.

Modelo: LU2

voltaje:12/24 VDC

Power factor PF: >0.90

Consumo de LED: 75 W

Vida: 50,000hrs

Rendimiento luminoso de LED: ≥ 80 Lúmenes/ Watt

Producción Salida Flujo: 5300 Lúmenes

Dimensiones: 610 x 315 x 144mm

Peso: 9,6 kg

IP: 65



Figura 32 luminarias
LU2

1.1. Distribución de temperatura entre el conjunto del Chip y el Radiador

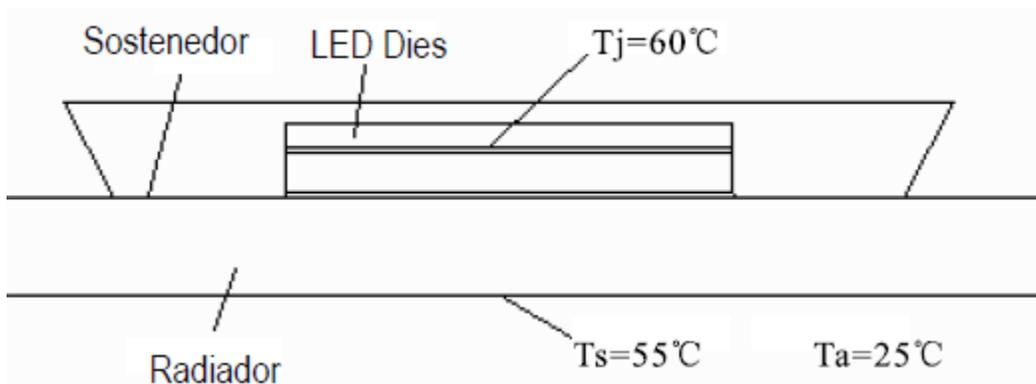


Figura 33 distribuciones de temperatura

Datos medidos en ambiente cerrado (sin interferencia de flujo de aire)

1.2. Test de degradación de 1500 horas

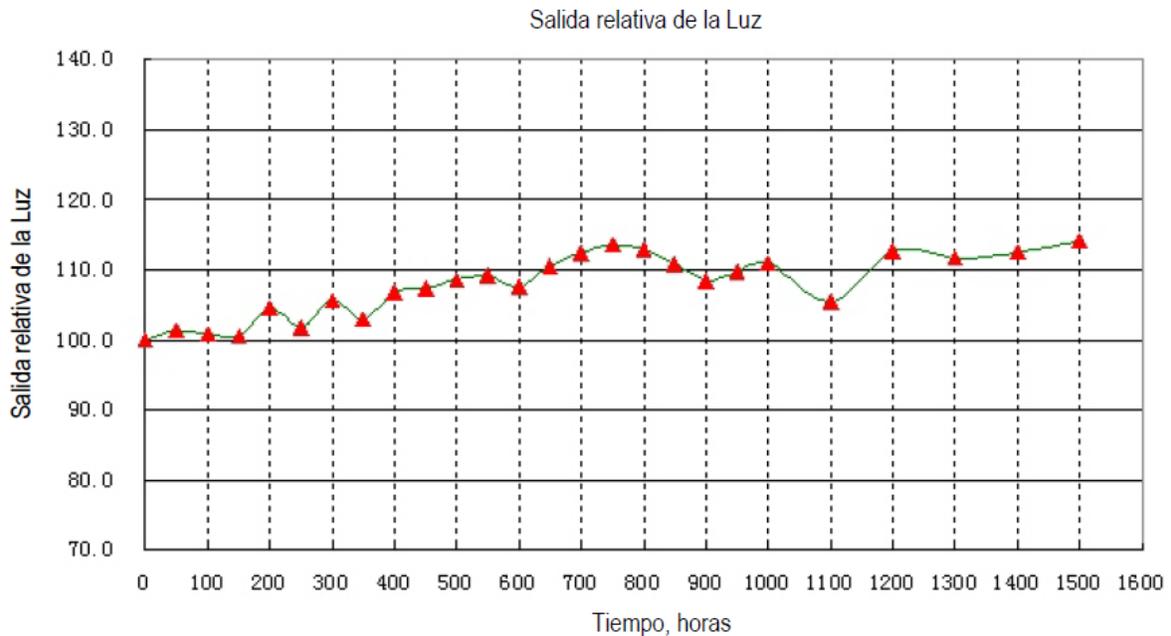


Figura 34 degradaciones en horas de la luminaria

1.3. Demostración de la degradación lumínica



Figura 35 haz de luz de una luminaria

1.4. Rendimiento fotométrico

Control racional de la distribución lumínica para obtener un haz de luz rectangular en el suelo. Cuando la luminaria está instalada a una altura de 12m, el haz es 16 x 40m rectangular, y la radiación-eficiencia es más que el 70% en la región eficaz, la transparencia total es más de 90%. Es el rango más grande posible para reducir la pérdida de luz. La luz de los LED se ha utilizado completamente. La uniformidad de la iluminación es muy buena en la región eficaz de la radiación, incluso mejor que 0.5, más arriba de 0.4, el

estándar máximo establecido en el reglamento estatal para los caminos. El haz de luz es uniforme y bien marcado hasta los bordes y no produce una contaminación lumínica afuera de él. Satisfaciendo así los requisitos de la iluminación de caminos o de otras iluminaciones especiales.

1.5. Distribución de luz a varias alturas

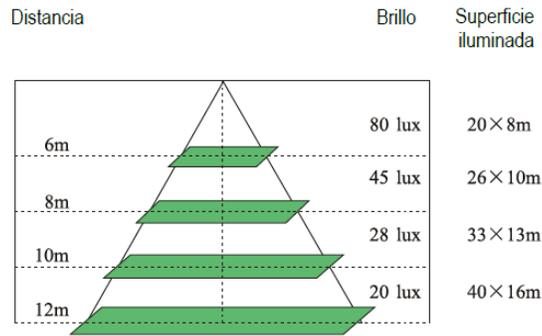
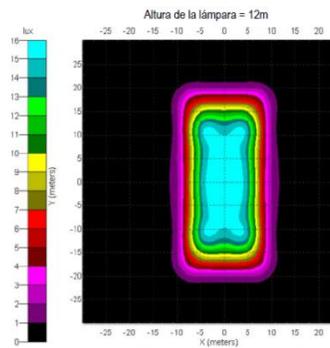
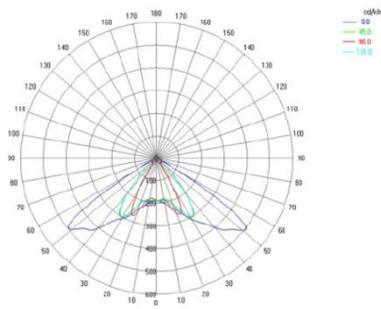


Figura 36 distribuciones de la luz a varias alturas

1.6. Curvas de distribución de luz

Instalación plana de la lámpara



Instalación inclinada de la lámpara

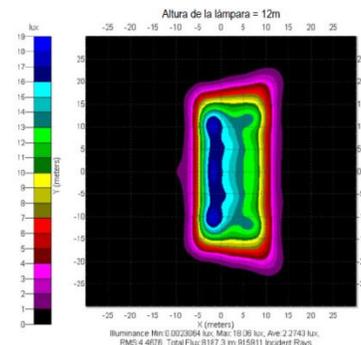
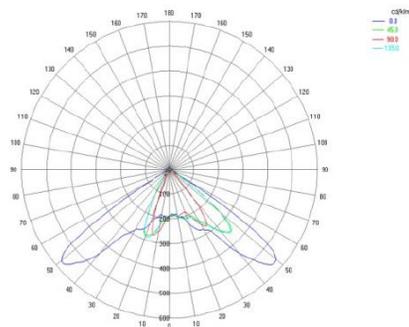


Figura 37 curvas de la distribución de la luz

1.7. Efecto del haz de luz en tierra

Instalación plana de la lámpara



Instalación inclinada de la lámpara



Figura 38 haz de la luz en la tierra

El haz de luz es rectangular, tiene buena uniformidad de la iluminación, la diferencia del brillo es muy pequeña entre el punto del centro y la periferia. Casi ninguna diferencia en la ampliación en el camino.

2. Cálculo de la carga

Tabla 13 cálculo de la carga conectada

Equipo	E1 número	E2 Carga(W)	E3 Tiempo de uso	E4=E1XE2XE3
Iluminaria	1	75	8 h	600 W.h/día
Total:				600 W.h/día

Fuente: proceso de cálculo ISF

2.1. Cálculo del consumo real

El tiempo de uso de nuestra luminaria será de 8 horas, la radiación global promedio es de 3,96 kWh/m²/día que es lo mismo 3,96 HPS (horas de pico solar)

$$ET = P \times H \quad (\text{Ecuación 25})$$

Dónde:

ET = consumo teórico

P = potencia de luminaria

H = número de horas de funcionamiento

$$ET = 75W \times 8 \frac{h}{día} = 600 W \cdot \frac{h}{día}$$

Consumo real

$$E = \frac{ET}{R} \quad (\text{Ecuación 26})$$

Dónde:

E = es el consumo real

R = es el parámetro de rendimiento global de la instalación fotovoltaica, definido como

$$R = (1 - kb - kc - kv) \cdot \left(1 - \frac{ka \cdot N}{Pd}\right) \quad (\text{Ecuación 27})$$

Para el sistema fotovoltaico propuesto los valores que van a fijar son los siguientes:

Kb=0,05 por que en este caso el sistema no está sometida a descargas intensas.

Kc=0,00 por que no usamos un inversor DC/AC.

Kv=0,05 debido a que el sistema es simple y no cuenta con otras pérdidas.

Ka=0,005 para baterías estacionarias Pb-ácido o gel cero mantenimiento.

N=3 por ser un sistema aislado con poco consumo.

Pd=0,5 para baterías de descarga profundas.

De la ecuación 27 reemplazando los valores obtenemos

$$R = (1 - 0,05 - 0,00) \cdot \left(1 - \frac{0,005 \times 3}{0,5}\right) = 0,873$$

Reemplazando los valores en la ecuación 26 tenemos

$$E = \frac{600 \text{ W} \cdot \frac{\text{h}}{\text{día}}}{0,873} = 687,28 \text{ W} \cdot \frac{\text{h}}{\text{día}}$$

3. Panel solar

También conocidos como “Paneles Fotovoltaicos”, están formados por la unión de celdas (células fotovoltaicas) que producen electricidad a partir de la luz que incide sobre ellos (electricidad solar). El parámetro estandarizado para clasificar su potencia se denomina potencia pico, y se corresponde con la potencia máxima que el módulo puede entregar bajo unas condiciones estandarizadas

Tipo: Polycrystalline PV Module 12V

potencia: 50 W \pm 3%

Voltaje de circuito abierto: 22VDC

Voltaje de poder máximo: 17.5 VDC

Corriente de corto circuito: 3.07 A

Corriente máxima: 3.40 A

Dimensiones: 620 x 670 x 35 mm

Peso: 5,21kg



Figura 39 panel solar
50W

3.1. Calculo del número de paneles

$$N_p = \frac{E}{0,9(W_p \times HPS)} \quad (\text{Ecuación 28})$$

Dónde:

N_p = número de paneles

W_p = potencia pico del panel

HPS = horas de pico solar

Remplazando valores en la ecuación 28 tenemos que

$$N_p = \frac{687,28}{0,9(50 \times 3,96)} = \frac{687,28}{178,20} = 3,85 \sim 3 \text{ paneles de } 50W$$

Rendimiento del panel de la ecuación 11

$$\eta = \frac{50 \text{ W}}{3,96 \frac{\text{KW}}{\text{m}^2} \times 0,4154 \text{m}^2} = 30,39\%$$

4. Batería

Ciclo profundo sellada de gel

Intensidad: 120AH

Voltaje: 12VDC

Horas: 20h

Peso: 31kg



Figura 40 baterías de gel de 120 Ah

Son las que almacenan la energía producida por el generador y permite disponer de corriente eléctrica fuera de las horas de luz o días nublados. Estos acumuladores son especiales ya que son sometidos a continuos ciclos de carga y descarga.

4.1. Cálculo de la capacidad de la batería de acumulación

Capacidad del acumulador de la ecuación 1 tenemos:

$$C_{\text{BAT}} = \frac{\left(\frac{600 \text{Wh} \times 1}{0,62} \right)}{12 \text{ V}} = 80,64 \text{ Ah}$$

Descarga diaria de la ecuación 2

$$Dd = \frac{50 \text{ Ah}}{80,64 \text{ Ah}} \times 100 = 62\%$$

($C_{\text{max}} = 600 \text{ Wh}$) / 12V = 50 Ah

Profundidad de descarga de la ecuación 3

$$Pd = \frac{50 \text{ Ah} \times 1}{80,64 \text{ Ah}} \times 100 = 62\%$$

De la ecuación 4 tenemos la intensidad de corriente del panel

$$Ic = \frac{0,82 \times 50 \text{ w}}{12 \text{ V}} = 3,40 \text{ A}$$

Corriente requerida en el sistema de la ecuación 5 tenemos

$$Ecc = 3,40 \times 8 \text{ h} = 27,2 \text{ Ah}$$

De la ecuación 6 tenemos la capacidad requerida

$$\text{CMR} = 100 \times \left(\frac{27,2 \text{ Ah}}{20} \right) = 136 \text{ Ah}$$

Las baterías en paralelo la calculamos de la ecuación 7

$$N_{\text{bp}} = \frac{136 \text{ Ah}}{120 \text{ Ah}} = 1,13 \sim 2$$

Las baterías en serie la calculamos de la ecuación 8

$$N_{\text{bs}} = \left(\frac{12\text{V}}{12 \text{ V}} \right) = 1$$

De la ecuación 9 tenemos el total de baterías

$$N_{\text{tb}} = 1 \times 2 = 2 \text{ baterías de } 120 \text{ Ah}$$

El tiempo de autonomía de las baterías las calculamos de la ecuación 10

$$T_a = \frac{20 \text{ h}}{\left(\frac{6,25 \text{ A} \times 20 \text{ h}}{120 \text{ Ah}} \right) 1,1} = 19,14 \text{ horas}$$

5. Regulador de voltaje

Es la encargada de ajustar y regular la carga que sale directamente del módulo fotovoltaico, ya que está en función de la insolación solar y puede sobrepasar la capacidad de los acumuladores (baterías). La función principal del regulador de carga es proteger las baterías de las sobrecargas y sobre descargas en condiciones extremas de operación.

$$P = V \times I \quad (\text{Ecuación 29})$$

Batería – Carga

Potencia de la lámpara 75 W, voltaje de las baterías 12 V

Entonces remplazando valores en la ecuación 29 tenemos

$$I = \frac{75 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 6,25 \text{ A}$$

Panel – Baterías

Potencia total de los paneles 150 W, voltaje de las baterías 12 V, de la ecuación 29 tenemos

$$I = \frac{150 \text{ W}}{12 \text{ V}} = 12,5 \text{ A}$$

Se selecciona el controlador que soporta una corriente de hasta 15 A que en el mercado nacional se encuentra disponible el SunSaver-10



Figura 41 regulador de voltaje SunSaver 6

El controlador solar que contamos para nuestro prototipo es el SunSaver - 6 figura 41 el cual nos da un voltaje de 12 V y una carga de 6.5 A el cual nos satisface la corriente que requerimos para nuestra carga, pero no satisface para aprovechar la corriente generada de los paneles para cargar las baterías.

6. Cálculo de la estructura

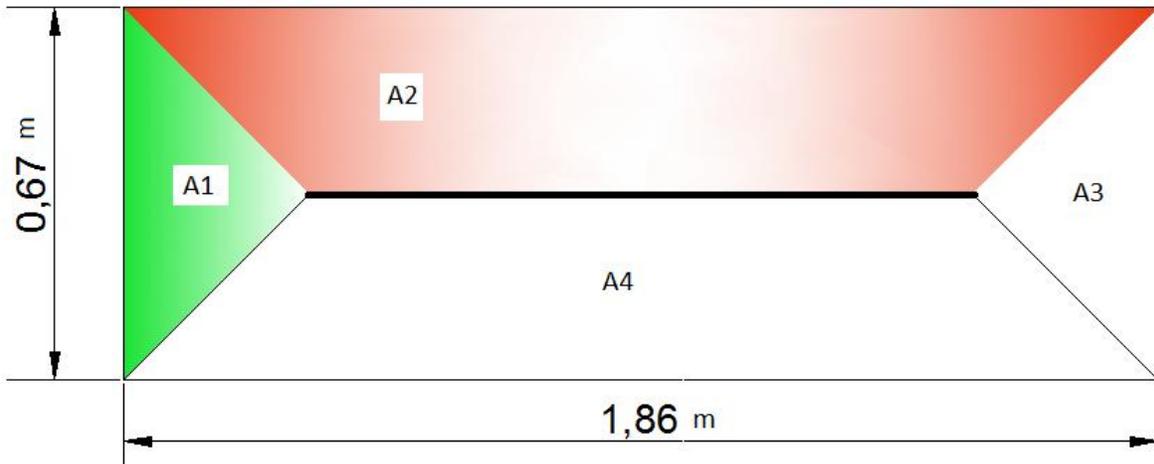


Figura 42 dimensiones de los paneles de 50 W

Hallamos el área total de los paneles

$$At = b \times h \quad (\text{Ecuación 30})$$

Dónde:

At = área total (m^2)

b = base (m)

h = altura (m)

Utilizando la ecuación 30 hallamos el área total de los tres paneles

$$At = 1,86 \text{ m} \times 0,67 \text{ m} = 1,2462 \text{ m}^2$$

Para hallar el área A1 y A2 utilizamos la ecuación 30

$$A1 = 0,335 \text{ m} \times 0,335 \text{ m} = 0,112225 \text{ m}^2$$

$$A2 = 1,19 \text{ m} \times 0,335 \text{ m} + 0,112225 = 0,510875 \text{ m}^2$$

Tenemos que el $A3 = A1$ y el $A4 = A2$

Peso del panel = 5,21kg

Peso total de paneles = 5,21 kg x 3 = 15,63 kg

15,63 kg pesan los paneles en una área de 1,2462 m^2

$$Pa = \left(\frac{Pat}{at} \right) A \quad (\text{Ecuación 31})$$

Dónde:

P_a = peso del área (N)

P_{at} = peso del área total (kg)

A_t = área total de los paneles (m^2)

$$P_{a1} = \left(\frac{15,63 \text{ kg}}{1,2462 \text{ m}^2} \right) 0,112225 \text{ m}^2 = 1,4075 \text{ Kg} = 13,8075 \text{ N}$$

$$P_{a2} = \left(\frac{15,63 \text{ kg}}{1,2462 \text{ m}^2} \right) 0,510875 \text{ m}^2 = 6,4074 \text{ Kg} = 62,8565 \text{ N}$$

Tenemos que el $P_{a3} = P_{a1}$ y el $P_{a4} = P_{a2}$

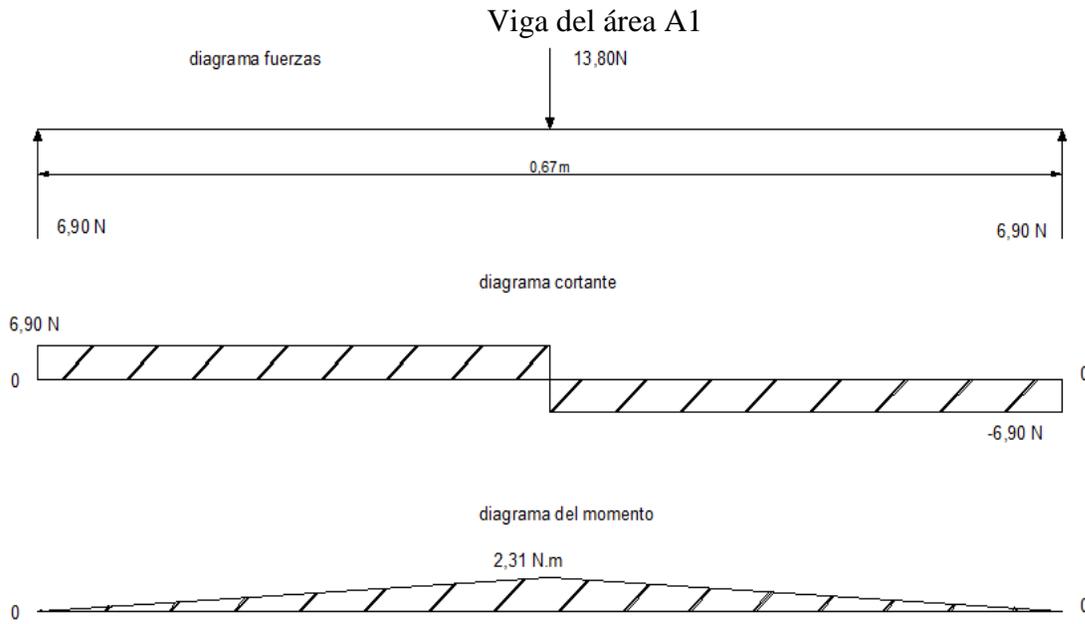


Figura 43 diagrama de fuerzas, momento cortante y momento flector de la viga 1

Momento flector máximo viene dado por la ecuación 13

$$M_{\max} = \frac{13,80 \text{ N} \times 0,67 \text{ m}}{4} = 2,31 \text{ N.m}$$

La deflexión máxima tenemos de la ecuación 16

$$\delta = \frac{13,80 \text{ N} \times 0,300763 \text{ m}^3}{48 \times 2100000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 1,21 \text{ cm}^4} = 3,402 \times 10^{-8}$$

Viga del área 2

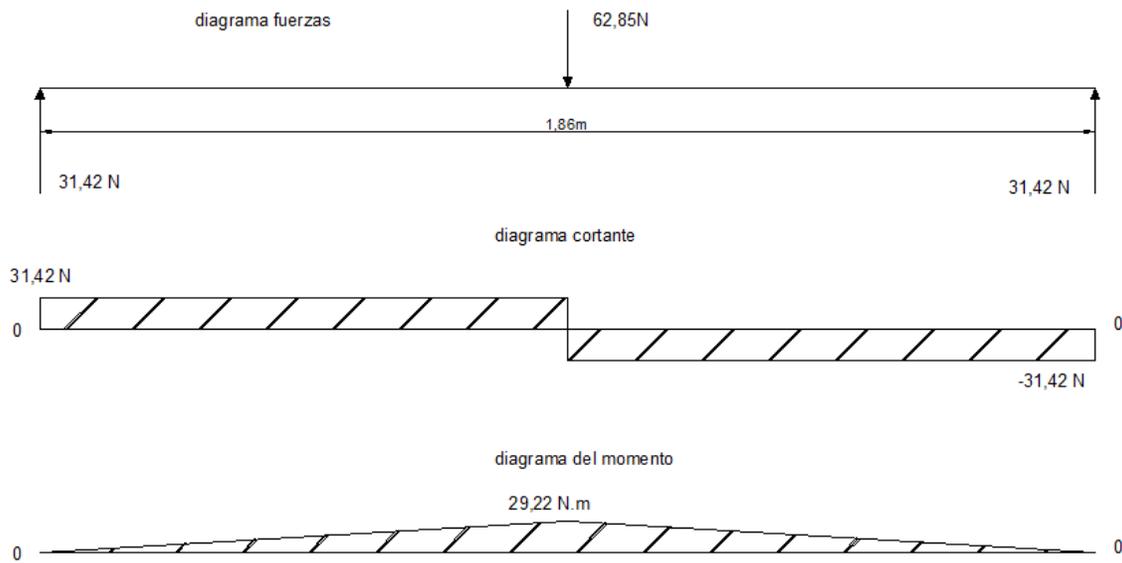


Figura 44 diagrama de fuerzas, momento cortante y momento flector de la viga 2

Momento flector máximo viene dado por la ecuación 13

$$M_{\max} = \frac{62,85 \text{ N} \times 1,86 \text{ m}}{4} = 29,22 \text{ N} \cdot \text{m}$$

La deflexión máxima tenemos de la ecuación 16

$$\delta = \frac{62,85 \text{ N} \times 6,4348 \text{ m}^3}{48 \times 2100000 \frac{\text{Kg}}{\text{cm}^2} \times 1,21 \text{ cm}^4} = 3,315 \times 10^{-6}$$

Peso de paneles 15,63 kg, peso de estructura en 7m de tubo 1x1” 6,81kg

$$P_t = 22,44 \times 9,81 = 220,13 \text{ N}$$



Figura 45 diagrama de fuerzas que actúan en el mástil

La fuerza de compresión la calculamos de la ecuación 12

$$\sigma = \frac{220 \text{ N}}{0,0146 \text{ m}^2} = 15,06 \text{ N/m}^2$$

Velocidad del viento datos obtenidos en la Estación Meteorológica Loja, la “Argelia” del año 2009, ubicado en la Universidad Nacional de Loja que están en la tabla del Anexos 6

Tabla 14 mediciones de la velocidad del viento de meses críticos

Mes del año 2009	Velocidad del viento en m/s
Mayo	4,3
Julio	5,2
Diciembre	3,0
TOTAL	12,5

Fuente: Estación meteorológica la Argelia

v= velocidad del viento.

$$v = \frac{\text{total velocidad del viento}}{3} = \frac{12,5}{3} = 4,16 \text{ m/s}$$

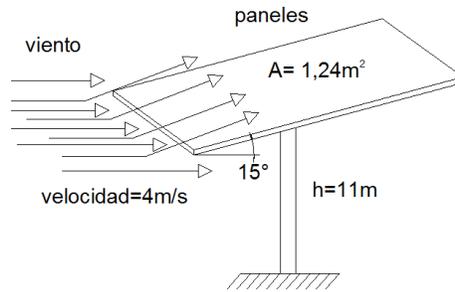


Figura 46 diagrama de resistencia del panel al viento

La presión del viento origina una presión dinámica que viene expresada por la ecuación 17.

$$P_v = \frac{1,2 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times (4,6 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{2 \times 9,81 \text{ m/s}^2} = 1,294 \text{ kg/m}^2$$

La carga del panel al viento se expresa en N. y viene dada por la ecuación 18.

$$Q = 1,249 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2} \times 1,24 \text{ m}^2 = 1,548 \text{ kg} = 15,185 \text{ N}$$

En la ecuación 19 se expresa el momento flector que origina el panel en el mástil.

$$M_a = 15,185 \text{ N} \times 11 \text{ m} = 167,035 \text{ N} \cdot \text{m}$$

7. Cálculo de iluminación

De la ecuación 20 calculamos la densidad de potencia eléctrica de alumbrado

$$DPEA = \frac{75 \text{ W}}{140 \text{ m}^2} = 0,53 \text{ W/m}^2$$

En la tabla 3 de la CIE tenemos los valores máximos de la DPEA que para nuestra vía es de 1,39 W/m² ya que corresponde a los 20 lux que necesita nuestra vía de circulación vehicular.

7.1 Cálculo con software DIALux

Para determinar si una instalación es adecuada y cumple con todos los requisitos de seguridad y visibilidad necesarios se establece una serie de parámetros que sirve como criterios de calidad son la luminancia promedio Lprom, factor de uniformidad (Uo), incremento de umbral (TI) factor uniformidad longitudinal (UI), relación de alrededores (SR). Los valores se encuentran en la tabla 5, que son los parámetros requeridos por la CIE 140. Cabe destacar que el CONELEC. Resuelve emitir la Regulación denominada «Prestación del Servicio de Alumbrado Público General». En el ítem 5 hace referencia a los

aspectos técnicos de la iluminación pública. En el cual expresa que la luminancia promedio se calcula como el promedio aritmético de las luminancias obtenidas en cada uno de los puntos de cálculo. Este es el valor mínimo que debe ser mantenido a lo largo de la vida de la instalación, y depende de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada. Valores superiores pueden aceptarse si pueden justificarse económicamente. El cálculo y la medición de la luminancia promedio de la calzada deben efectuarse de acuerdo con la norma CIE 140-2000. La uniformidad longitudinal es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación. El número de puntos y la distancia entre ellos deberán ser iguales a los utilizados para el cálculo de la luminancia promedio de la calzada. Se mide o se calcula de acuerdo con la norma CIE 140-2000 los demás valores de la calidad de iluminación de igual forma se los calcula con las normas de la CIE. Este artículo se lo adjunto en el anexo 7 del proyecto. Como nuestra vía es de acceso controlado y vías rápidas donde la circulación vehicular es de 60 a 80 km/h, es de tipo alta que corresponde a una clase de iluminación M2.

En el software DIALux colocamos los parámetros de nuestra planificación abrimos el asistente para planificación de vías públicas donde vamos llenando el perfil de la vía, nos pide en primer lugar que ingresemos el nombre de la vía pública donde colocamos vía a Malacatos, el factor de mantenimiento el cual colocamos 0,88, el cual el software nos ayuda poniendo que tipo de terminado tiene la vía, que existe a sus alrededores, etc. Luego nos pide que tipo de norma vamos a utilizar la cual seleccionamos las normas de la CIE el software tiene un banco de datos de algunas normas de iluminación. En el siguiente recuadro nos pide el ancho de vía 7 m, número de carriles 2, el ancho del camino peatonal, el tipo de pavimento que para nuestra vía corresponde a R3 que lo hallamos con la ayuda del mismo software, nos aparece otra ventana con la clase de iluminación y con los parámetros de calidad que van hacer evaluados que corresponde a los de la norma CIE. En esta ventana podemos elegir que parámetro queremos que el programa nos evalúe en la gráfica 26 se muestra un ejemplo de esta ventana. Luego en el software elegimos la luminaria ponemos seleccionar y buscamos el archivo que contiene la fotometría de nuestra luminaria LU2 en formato IES una vez seleccionado nos aparece otra ventana con las

características de nuestra luminaria como son potencia, flujo luminoso, fotometría, luego colocamos los parámetros de la planificación que podemos variar para la optimización que son distancia entre mástiles 20 m, altura del punto de luz 9,20 m, tipo de disposición bilateral desplazado, inclinación de la luminaria 15°, distancia mástil calzada 0,20 m, longitud del brazo 1,50 m, el software realiza un previo calculo y nos da unas propuestas con valores para elegir la planificación que deseamos para nuestro proyecto, cuando el cálculo está bien las propuestas salen de color negro pero cuando la planificación no está dentro de los parámetros de la CIE entonces nos subraya con rojo. Luego colocamos siguiente en la ventana entonces el software empieza a calcular todos los valores para nuestra planificación y la muestra de la siguiente forma.

Vía a Malacatos / Datos de planificación

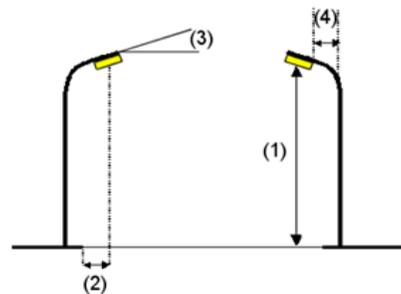
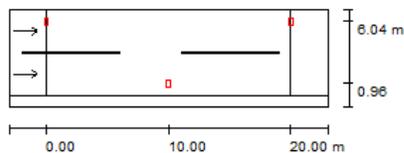
Perfil de la vía pública

Calzada 1 (Anchura: 7.000 m, Cantidad de carriles de tránsito: 2, Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070)

Camino peatonal 1 (Anchura: 1.000 m)

Factor mantenimiento: 0.80

Disposiciones de las luminarias



Luminaria: BBELED 140X60 PW
 Flujo luminoso (Luminaria): 5014 lm
 Flujo luminoso (Lámparas): 5300 lm
 Potencia de las luminarias: 75.0 W
 Organización: bilateral desplazado
 Distancia entre mástiles: 20.000 m
 Altura de montaje (1): 9.339 m
 Altura del punto de luz: 9.200 m
 Saliente sobre la calzada (2): 1.000 m
 Inclinación del brazo (3): 15.0 °
 Longitud del brazo (4): 1.163 m

Valores máximos de la intensidad lumínica
 con 70°: 526 cd/klm
 con 80°: 59 cd/klm
 con 90°: 63 cd/klm

Respectivamente en todas las direcciones que forman los ángulos especificados con las verticales inferiores (con luminarias instaladas aptas para el funcionamiento).

La disposición cumple con la clase del índice de deslumbramiento D.6.

Figura 47 datos de planificación DIALux

Lista de luminarias

via a malacatos / Lista de luminarias

BBELED 140X60 PW (Tipo 1)
 N° de artículo:
 Flujo luminoso (Luminaria): 5014 lm
 Flujo luminoso (Lámparas): 5300 lm
 Potencia de las luminarias: 75.0 W
 Clasificación luminarias según CIE: 99
 Código CIE Flux: 41 76 96 99 95
 Lámpara: 1 x Definido por el usuario (Factor de corrección 1.000).

Dispone de una imagen de la luminaria en nuestro catálogo de luminarias.

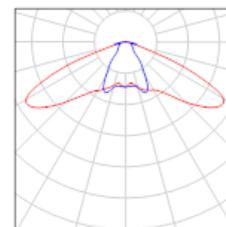
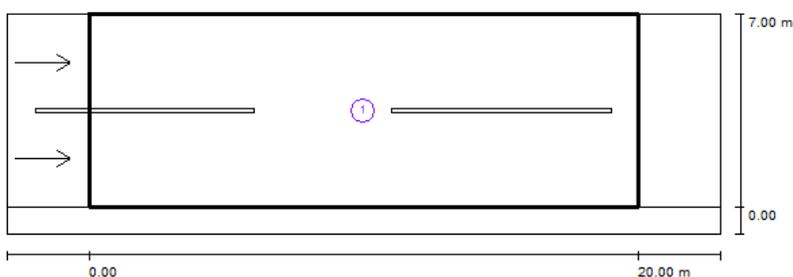


Figura 48 características de la luminaria DIALux

7.2 Resultados luminotécnicos



Factor mantenimiento: 0.80

Escala 1:186

Lista del recuadro de evaluación

- Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 20.000 m, Anchura: 7.000 m
 Trama: 10 x 6 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Calzada 1.
 Revestimiento de la calzada: R3, q0: 0.070
 Clase de iluminación seleccionada: ME2

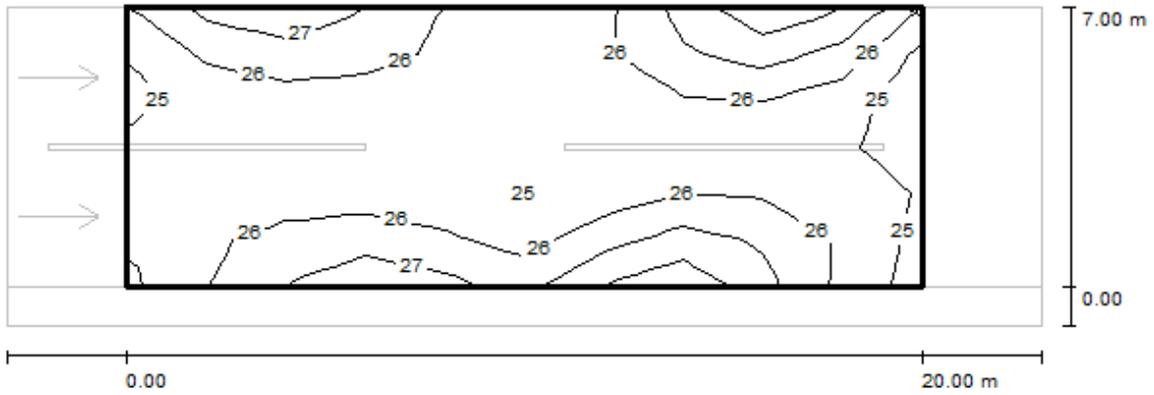
(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.69	0.85	0.86	3	0.71
Valores de consigna según clase:	≥ 1.50	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 10	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

Figura 49 resultados luminotécnicos DIALux

Estos valores los comparamos con los de la tabla 5 para ver si cumple la condición de luminotecnia el software también los compara y cuando están dentro de los parámetros los señala con un visto bueno. En la figura 50 observamos las isocurvas en un tramo de diez por seis puntos

via a malacatos / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Isolíneas (E)



Valores en Lux, Escala 1 : 186

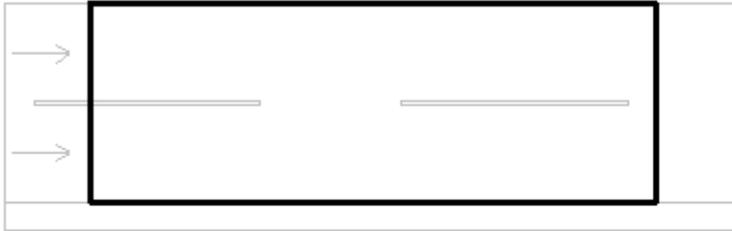
Trama: 10 x 6 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
26	25	28	0.958	0.873

Figura 50 resultados de isolineas DIALux

En la figura 51 observamos las rejilla que realiza DIALux en una trama de 10 x 6 puntos para calcular los valores de la calidad de la luminosidad

via a malacatos / Recuadro de evaluación Calzada 1 / Tabla (E)



6.417	26	27	27	26	<u>25</u>	<u>25</u>	26	<u>28</u>	<u>28</u>	26
5.250	<u>25</u>	26	26	26	26	<u>25</u>	26	27	27	<u>25</u>
4.083	<u>25</u>									
2.917	<u>25</u>									
1.750	26	26	26	26	<u>25</u>	<u>25</u>	27	27	26	<u>25</u>
0.583	<u>25</u>	26	27	27	26	26	<u>28</u>	<u>28</u>	26	<u>25</u>
m	1.000	3.000	5.000	7.000	9.000	11.000	13.000	15.000	17.000	19.000

Atención: Las coordenadas se refieren al diagrama ya mencionado. Valores en Lux.

Trama: 10 x 6 Puntos

E_m [lx]	E_{min} [lx]	E_{max} [lx]	E_{min} / E_m	E_{min} / E_{max}
26	25	28	0.958	0.873

Figura 51 datos de la rejilla DIALux

En la figura 52 podemos observar los valores que tomamos en una forma experimental con un luxómetro a nuestra luminaria para calcular E_{prom} y la uniformidad de nuestra instalación utilizando el método europeo de los nueve puntos. Nuestra luminaria se encuentra emplazada en la Universidad Nacional de Loja en el Área de Energía las Industrias y los recursos naturales no renovables en la parte del parqueadero, teóricamente nuestra luminaria está separada a 20 m de las otras luminarias entonces dividimos 20/2 para colocar el punto 9 medimos a 5 m en dirección a nuestra luminaria y ponemos el punto 6, al pie de la luminaria el punto 3, como nuestra vía es de 7 m dividimos para dos para colocar el punto 1 y 2, luego colocamos los siguientes puntos 5,4,7,8 formando una malla de 9 puntos como se indica en la figura 52.

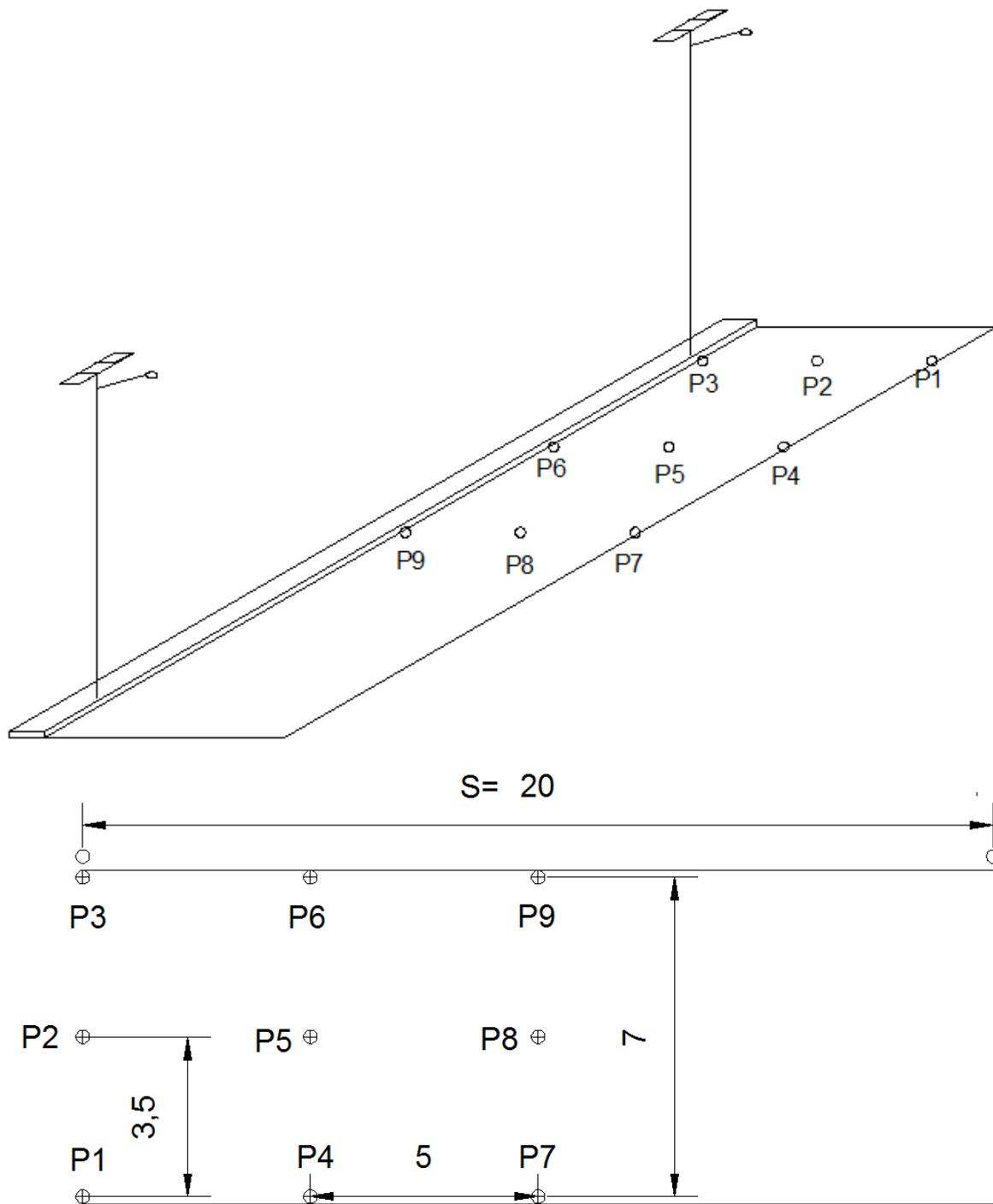


Figura 52 datos de la rejilla método europeo

Los valores que nos arroja nuestro luxómetro en cada uno de los puntos son P1= 23; P2= 25,5; P3= 23,6; P4= 22,5 P5=23,5; P6= 23,8; P7= 21,8; P8=22; P9= 23,4 la unidad de medida de los valores es el lux.

En el método europeo para el cálculo y evaluación de la iluminancia tenemos que los puntos extremos valen un 25% (P1, P3, P7, P9) los puntos intermedios 50% (P2, P4, P6, P8) y el punto central vale 100% (P5) la iluminación promedio se calcula de la siguiente Ecuación

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(P1 + P3 + P7 + P9) + 2X(P2 + P4 + P6 + P8) + 4XP5] \quad (\text{Ecuación 32})$$

Aplicando la ecuación 32 tenemos

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(23 + 23,6 + 21,8 + 23,4) + 2X(25,5 + 22,5 + 23,8 + 22) + 4X23,5]$$

$$E_{prom} = \frac{1}{16} [(91,8) + (187,6) + (94)] = 23,33 \text{ lux}$$

$$\frac{E_{min}}{E_{prom}} = 0,934; \quad \frac{E_{min}}{E_{m\acute{a}x}} = 0,85$$

A continuación tenemos una vista de la vía en representación de colores falsos para ver cómo se distribuye la iluminación con la tabla 6 podemos comparar los valores de iluminancia Luxes según el tipo de superficie de la vía y los de luminancia cd/m^2 .

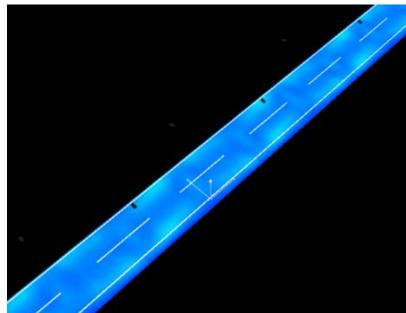


Figura 53 resultados representados en colores falsos

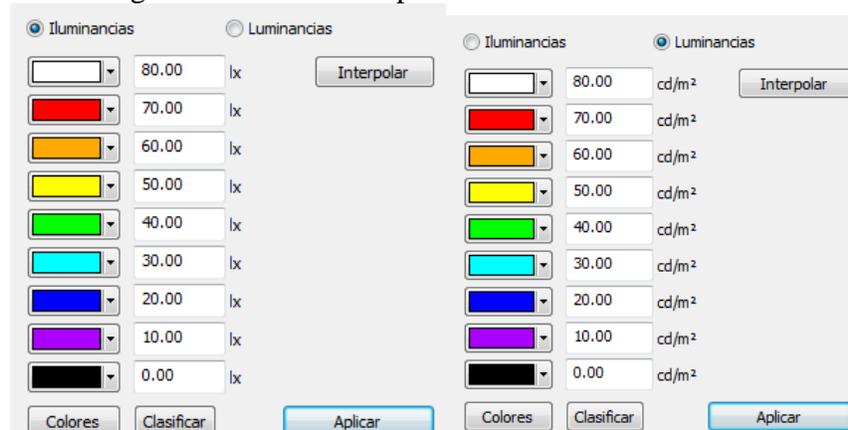


Figura 54 resultados de la iluminancia y luminancia distribuida en la vía

Representación en 3D de la distribución luminosa de la luminaria



Figura 55 vista 3D de la distribución luminosa

Representación en 3D de los colores Falsos



Figura 56 colores falsos de la distribución luminoso

Este software nos da una simulación como quedaría nuestro proyecto con la planificación elegida



Figura 57 resultados de la planificación de iluminación

8. Ventajas del sistema LED.

La duración de la iluminación LED, que se midió en la prueba, está entre 50.000 a 100.000 horas, indicando un alto retorno de la inversión el doble de vida operática entre 4 y 5 veces mayor que una lámpara de sodio.



Reducirá las emisiones de CO₂, mínimo costo de mantenimiento, Mejor reproducción cromática. La luz blanca de las luminarias LED aporta alegría y brillo sin penalizar el consumo.

La iluminación pública es hoy en día un feudo casi exclusivo de las lámparas de vapor de sodio, tanto de alta como baja presión. La razón fundamental consiste en la eficiencia luminosa de estas lámparas, que permite convertir cada vatio en una cantidad que varía

entre 130 y 170 lúmenes. Aunque ya existen LED en el mercado con capacidad para alcanzar hasta los 150 lúmenes por vatio, la mayoría de LEDs comerciales proporcionan entre 80 y 100 lúmenes.

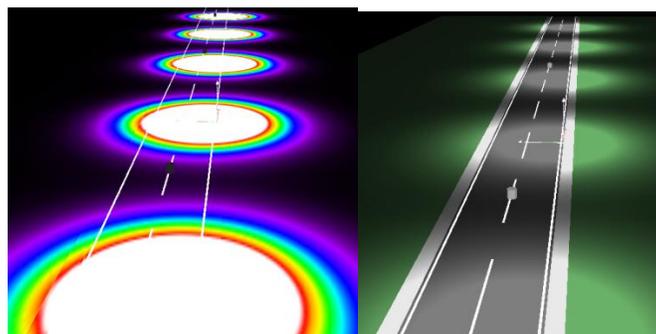
Las luminarias LEDs superan a las lámparas convencionales de vapor de sodio, especialmente en aquellas aplicaciones críticas, donde se requieren ciclos de apagado y encendido rápido o donde prima la calidad y reproducción de colores y el bajo coste de mantenimiento.

FOTO DIRECCIONAL

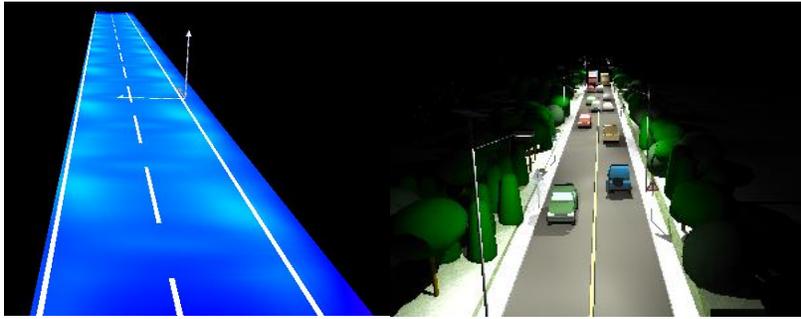


Una luminaria LED prendida las 8 horas al día dura 50000 horas su durabilidad excede los 17 años de uso, reduce la emisión de gases por efecto de invernadero, reduce gastos por concepto que ocasiona el consumo eléctrico, sin brillo molesto, sin contaminación visual, alto índice de color, protege el ambiente ya que no contiene mercurio ni plomo, trabaja con bajo voltaje y baja temperatura alta eficiencia de luminosidad

DIALux lámpara de vapor de sodio de alta presión de 100 W



DIALux lámpara LEDs LU2 de 75 W



DESVENTAJAS: El mayor inconveniente que tiene el LED sin duda es su precio, pero si evaluamos sus múltiples e inmejorables condiciones de funcionamiento, medio ambiente y sobre todo su larga vida en comparación con los demás sistemas de iluminación, estamos en condiciones de afirmar que es la inversión más sensata, eficaz y rentable que podemos hacer.

9. Costo real de la energía solar fotovoltaica generada y ahorro anual

Para determinar el costo de la energía generada se debe conocer el ahorro energético anual de todo el sistema.

Energía total generada = 600 Wh/día

$$600 \frac{\text{Wh}}{\text{día}} \times \frac{365 \text{ días}}{\text{año}} \times \frac{1 \text{ kWh}}{1000 \text{ Wh}} = 219 \frac{\text{kWh}}{\text{año}}$$

Esta cifra indica que en un año de generación se tendrá 219 kWh, una vez obtenido este valor se calculará el ahorro económico.

$$\text{Ahorro} = 219 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \frac{0,09 \text{ dólares}}{\text{kWh}} = 19,71 \frac{\text{dólares}}{\text{año}}$$

La vida útil promedio del sistema fotovoltaico depende mucho de la vida de sus componentes, un valor estimado que se recomienda es de 25 años como vida promedio de estos sistemas para este periodo de tiempo se tendrá un ahorro energético que se calculará a continuación.

$$219 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times 25 \text{ años} = 5475 \frac{\text{kWh}}{25 \text{ años}}$$

El ahorro económico en este tiempo que se está analizando será.

$$19,71 \frac{\text{dólares}}{\text{año}} \times 25 \text{ años} = 429,75 \text{ dólares}$$

Si deseamos estimar el costo del kWh de la energía producida por el sistema fotovoltaico se tomara en cuenta el costo total del sistema fotovoltaico, dividido para la potencia producida durante toda su vida útil, es decir durante 25 años.

$$\text{costo del kWh generado} = \frac{2490,15 \text{ dólares}}{5475 \text{ kWh}} = 0,45 \frac{\text{dólores}}{\text{kWh}}$$

Este valor calculado es el costo por kWh que genera el sistema de iluminación de nuestro prototipo, este valor esta en 0,45 centavos de dólar por cada kWh, si se hiciera la comparación con el costo de 0,09 centavos kWh que se cobra en nuestro país estaría en gran desventaja.

Pero desde hace algunos años atrás mediante el Consejo Nacional de Electricidad, el estado Ecuatoriano ha venido asumiendo el costo por kWh generado con un valor de 52,04 centavos de dólar (subsidió).

Entonces para este valor de kWh la inversión se recupera en:

$$219 \frac{\text{kWh}}{\text{año}} \times \frac{0,5204 \text{ dólares}}{\text{kWh}} = 113,9676 \frac{\text{dólares}}{\text{año}}$$

$$\text{Tiempo de recuperación} = \frac{2490,15 \text{ dolares}}{113,9676 \text{ dólares/año}} = 21,84 \text{ años}$$

Entonces el tiempo de recuperación es de 22 años, es decir desde el punto de vista económico no es muy rentable ya que la recuperación de la inversión se da en los 22 años de funcionamiento.

Tabla 15 Costo total del sistema convencional con lámpara de sodio de alta presión

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO \$
1	Luminaria 150 W	1	145,00
2	Lámpara de 150 W	1	50,20
3	Poste de hormigón armado de 11 m x 600 kg	1	200,00

4	Brazo para luminaria 1,50 m x 2" de diámetro	1	20,00
5	Cable dúplex # 12 AWG	2 m	3,50
6	Sistema de control (fotocelda)	1	25,00
7	Pernos, tuercas y arandelas para sujetar brazo	1	5,00
8	Transporte de postes	1	40,00
9	Mano de obra no calificada	2	40,00
		TOTAL	528,70

Tabla 16 Costo total del sistema convencional con luminaria LED LU2

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO \$
1	Luminaria LED 75 W	1	520,00
2	Poste de hormigón armado de 11 m x 600 kg	1	200,00
3	Brazo para luminaria 1,50 m x 2" de diámetro	1	20,00
4	Cable dúplex # 12 AWG	2 m	3,50
5	Sistema de control (fotocelda)	1	25,00
6	Pernos, tuercas y arandelas para sujetar brazo	1	5,00
7	Transporte de postes	1	40,00
8	Mano de obra no calificada	2	40,00
		TOTAL	853,50

Tabla 17 Costo total del sistema fotovoltaico con lámpara de sodio de alta presión

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO \$
1	Luminaria 150 W	1	145,00
2	Lámpara de 150 W	1	50,20
3	Poste de hormigón armado de 11 m x 600 kg	1	200,00
4	Brazo para luminaria 1,50 m x 2" de diámetro	1	20,00
5	Cable dúplex # 12 AWG	13 m	22,75
6	Sistema de control (fotocelda)	1	25,00
7	Pernos, tuercas y arandelas para sujetar brazo	1	5,00
8	Transporte de postes	1	40,00
9	Mano de obra no calificada	2	40,00
10	Panel solar poli cristalino de 100 W	3	1560,00

11	Estructura para paneles	1	25,00
12	Baterías de gel cero mantenimiento	4	800,00
13	Caja para baterías	1	80,00
14	Caja para regulador	1	10,00
15	Regulador de voltaje	1	150,00
16	Tubo galvanizado de 4" 0,60 m	1	15,00
17	Electrodos, pintura	1	7,40
		TOTAL	3195,35

Tabla 18 Costo total del sistema fotovoltaico con luminaria LED LU2

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	PRECIO \$
1	Luminaria 75 W LED	1	520,00
2	Poste de hormigón armado de 11 m x 600 kg	1	200,00
3	Brazo para luminaria 1,50 m x 2" de diámetro	1	20,00
4	Cable dúplex # 12 AWG	13 m	22,75
5	Sistema de control (fotocelda)	1	25,00
6	Pernos, tuercas y arandelas para sujetar brazo	1	5,00
7	Transporte de postes	1	40,00
8	Mano de obra no calificada	2	40,00
9	Panel solar poli cristalino de 50 W	3	960,00
10	Estructura para paneles	1	25,00
11	Baterías de gel cero mantenimiento	2	400,00
12	Caja para baterías	1	50,00
13	Caja para regulador	1	10,00
14	Regulador de voltaje	1	150,00
15	Tubo galvanizado de 4" 0,60 m	1	15,00
16	Electrodos, pintura	1	7,40
		TOTAL	2490,15

Con el sistema tradicional utilizando una luminaria de 150 W utilizándola por 8 horas diarias el consumo es de 1,2 kWh multiplicando por 365 días nos da un consumo anual de 438 kWh.

El consumo en los 25 años será de 10950 kWh

Se pagara por este consumo un monto de:

$$10950\text{kWh} \times \frac{0,09 \text{ dólares}}{\text{kWh}} = 985,5 \text{ dólares}$$

Ahora el costo real del sistema tradicional será la suma de los costos de equipo más el costo del kWh durante los 25 años.

$$\text{Costo total} = 528,70 + 985,5 = 1514,2 \text{ dólares}$$

10. Ahorro energético

Si se usa el sistema eléctrico tradicional con una luminaria de 150 W el consumo será:

-En un día:

$$150 \text{ W} \times 8 \text{ horas} = 1200\text{Wh} = 1,2 \text{ kWh}$$

- En un año:

$$1,2 \text{ kWh} \times 365 = 438 \text{ kWh}$$

- En 25 años:

$$438 \text{ kWh} \times 25 = 10950 \text{ kWh}$$

11. Emisiones de CO2 evitados

Factor de conversión: 0,495 kg CO₂ / kWh

$$10950\text{kWh} \times \frac{0,495\text{kg CO}_2}{1\text{kWh}} \times \frac{1 \text{ Ton. CO}_2}{1000 \text{ kg CO}_2} = 5,42025 \text{ Toneladas de CO}_2$$

Con el sistema fotovoltaico se ahorra un consumo de 10,950 MWh en 25 años, si se hablara de las emisiones de CO₂ se evitara 5,42 Toneladas de CO₂ en el mismo tiempo estimado.

g.- DISCUSIÓN

Una vez de haber recopilado, analizado y sistematizado la información bibliográfica en lo que tiene singular importancia ya que es esencial buscar nuevos enfoques en lo que a energías alternativas se refiere, para poder contribuir a la conservación del medio ambiente y además lograr el desarrollo de nuestros pueblos y del país.

Para el cálculo de la carga total diaria, colocamos un rango de seguridad por lo que consideramos un 20% del consumo diario así asegurándonos pérdidas por conexiones e otros factores que puedan influir en la pérdida de energía eléctrica, Al momento de colocar los paneles los orientamos de Sur a Norte de 15° con respecto al plano para lograr una mayor eficiencia de la radiación solar. Con las fórmulas que aplicamos podemos decir que con los tres paneles de 50 W satisface para alimentar a nuestra luminaria así mismo que con dos baterías de 120 Ah podemos brindar hasta 19,14 horas de autonomía a nuestro sistema.

En cuanto a la planificación de la iluminación utilizando el software DIALux podemos observar que con una planificación bilateral (trebolilla) tenemos mayor uniformidad de la iluminancia ya que colocándolas en unilateral tenemos menos uniformidad de las isolinneas en la vía y así mismo que la distancia entre los mástiles se encuentre dentro de los parámetros establecidos por la CIE 115 (recomendaciones para la iluminación) si aumentamos la distancia entre los mástiles los parámetros de la CIE 140 (parámetros para el cálculo de iluminación) ya no se cumplen estas normas el Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC) también nos recomienda para calcular los parámetros de calidad de la iluminación. Utilizando un luxómetro tomamos los valores de lux de la luminaria de nuestro proyecto con el método europeo de los nueve puntos pudimos contrastar los valores que nos arroja la simulación para poder saber la confiabilidad del software con respecto a la realidad también podemos observar que la tecnología LED utilizada en alumbrado público es más eficiente en cuanto a la iluminancia con respecto a las luminarias convencionales que consumen más y tienen una baja uniformidad de la iluminancia. Con el sistema fotovoltaico el kWh generado en costo es mucho mayor que la generación eléctrica convencional, nuestro sistema fotovoltaico tiene una recuperación de la inversión en un tiempo muy elevado de 22 años y para sistemas fotovoltaicos se considera la vida útil de 25 años teniendo solo tres años de ganancia que económicamente no es rentable, utilizando el sistema de generación fotovoltaico nos evitamos 5,42 toneladas de CO₂ en 25 años. Para el

encendido y apagado de nuestra luminaria realizamos un circuito electrónico el cual funciona a corriente continua (12V); ya que en el mercado local no encontramos un sistema con esas características solo existía a 120v CA.

g.1 Valoración técnico - económica.

A continuación, se detalla los gastos realizados mediante el desarrollo de la presente investigación.

Gasto de diseño, construcción e investigación.				
Denominación	Tarifa (\$)	Cantidad	Tiempo (h)	Importe
Internet	0.5	1	75	37.5
Copias	0,02	1000	50	20
Diseño	10	-	48	10
Instrumentos de medición.	20	2	-	40
Recolección de datos.	100	-	48	100
Equipos	-	-	-	2453,50
Mano de obra no calificada	10	-	8	80
Presentación de resultados.	40	1	25	40
Costos de impresión y presentación de tesis.	10	3	12	30
Materiales de oficina y otros.	2	50	-	100
			Subtotal	2911

h.- CONCLUSIONES

Con la realización del presente trabajo se ha llegado a las siguientes conclusiones:

- El sistema de iluminación fotovoltaico con tecnología LED, es autónomo pues no depende del sistema nacional, además no contamina la red con armónicos y es fácil ensamblar, debido a que las uniones son atornilladas.
- La luminaria LU2 nos brinda una iluminación promedio de 20 lux tal como establece las normas de la CIE 140 para las vías de circulación vehicular.
- Las luminarias LED son amigables con el ambiente a diferencia de las convencionales no utiliza gases contaminantes como plomo, sodio y mercurio. Otra gran importancia es que consumen poca energía por lo que pueden ser combinadas perfectamente con energía solar, al mismo tiempo que tienen una fotometría uniforme.
- La luminaria y el sistema de control de encendido y apagado que escogimos es de corriente continua a 12 voltios para evitar gastos en la adquisición de inversores y de infraestructura para dicho equipo así aliviando esfuerzos en el mástil.
- Con los cálculos realizados podemos verificar que para nuestra carga es suficiente 3 paneles solares de 50W pico cada uno. También podemos confirmar que con 2 baterías de 120 Ah podemos brindar hasta 17 horas de autonomía. las baterías del sistema para un mayor rendimiento deben ser de gel cero mantenimientos, ya que las baterías comunes para carros no están diseñadas para descargas profundas.
- Para disminuir los esfuerzos y costos en el mástil se sujetó las baterías en la parte inferior del poste donde no genere esfuerzo alguno al poste.
- El funcionamiento de un sistema fotovoltaico tiene poco impacto negativo en el medio ambiente. A diferencia de la electricidad producida a partir de los combustibles fósiles, los sistemas fotovoltaicos producen electricidad sin las emisiones contaminantes del aire. Porque la energía del sol es gratis y una constante fuente de energía renovable. Además se puede utilizar en lugares remotos del país por ser un sistema autónomo.
- Con el Software DIALux se pudo simular el sistema, para determinar los vanos y la disposición de las luminarias que para mayor luminancia deben ser bilateral tresbolillo, para cumplir con las normas CIE 140.

- En la simulación con el software podemos observar que si variamos la distancia de los vanos a mayor de 20 m los valores que nos arroja están fuera de la norma CIE-140, así mismo si colocamos en unilateral los mástiles la uniformidad de la planificación también varía produciendo zonas oscuras.
- Pudimos corroborar de una forma experimenta con un luxómetro los valores de la simulación del software DIALux dándonos valores similares por ende se puede decir que el software si nos brinda confiabilidad.
- El kWh de la generación fotovoltaica económicamente es mucho mayor que la generación convencional.
- Utilizando la generación fotovoltaica nos evitamos las emisiones del CO2

i.- RECOMENDACIONES

Con la realización de este trabajo se ha llegado a las siguientes recomendaciones:

- Se debe hacer un mantenimiento preventivo por lo menos una vez al año, al sistema especialmente la limpieza de los paneles, ajustar los terminales de las baterías para evitar sulfataciones, verificar que la fotocelda no este obstruida de la entrada de luz y en si verificar el funcionamiento correcto del sistema.
- Se recomienda la utilización de este sistema para reducir la emisión de gases contaminantes a la atmosfera.
- Se debe tener en cuenta la orientación correcta del panel, que en este caso es 15° Sur a Norte para aprovechar correctamente la potencialidad solar. Y tener en cuenta obstáculos como árboles o edificaciones que provoquen sombra al panel.
- Utilizar el software DIALux para una planificación y cálculo de los parámetros de la iluminación y poder observar los resultados en una forma de simulación realista. Es muy importante tener en cuenta la norma que se va a utilizar.
- Se recomienda que el personal que ensamble el sistema sea capacitado y pueda realizar la conexión correcta de las cargas para evitar daños en los equipos.
- Cuando los equipos hayan finalizado su vida útil llevarlos a un centro especializado de reciclaje, para evitar que los ácidos de la batería produzcan daños al ambiente.
- Se recomienda realizar la sustitución del controlador de carga de 6 A a 15 A porque los paneles nos brindan 12 A mientras que el controlador de carga actual solo es de 6 A, no dejando aprovechar su potencia total de los paneles ni cargar las baterías en su totalidad.

j.- BIBLIOGRAFÍA

LIBROS:

1. ASOCIACIÓN ARGENTINA DE LUMINOTECNIA. 2006. Proyecto de alumbrado urbano y contaminación lumínica Organizado por: Departamento de Luminotecnia Luz y Visión (DLLyV), Universidad Nacional de Tucumán – AADL Regional Cuyo – Instituto Regional de Estudio Sobre Energía FRM UTN.
2. HENDERSON S. Y MARSDEN A. 1979. Lamps and lighting, second edition. Edward Arnold London.
3. INSTITUTO DE ASTROFÍSICA DE CANARIAS. 2004. Resumen de recomendaciones para la iluminación de instalaciones de exteriores o en recintos abiertos, oficina técnica para la protección de la calidad del cielo San Cristóbal de la Laguna revisión Octubre -2004.
4. PYTEL, ANDREW; SINGER, FERDINAND. 1994. Resistencia de materiales cuarta edición, copyrigh 1994-1982 Per Harla S.A.

REVISTAS ELECTRÓNICAS:

1. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENERGY AND ENVIRONMENT. 2010 [en línea]. Department of electrical Engineering Maulana Azad National Institute of Technology, Bhopal, India. Volume 1, Issue, pp 487-500.
2. LED LIGHT, 2008. Alumbrado público con luminarias LED de alta intensidad, public lighting networks, eskom convention centre Midrand 03 de march 2008.
3. MARTÍNEZ TORRES, HERNÁN. 2010. Reglamento técnico de iluminación y alumbrado público RETILAP, ministerio de minas y energías anexo general.

4. PUBLICACIONES DE LA CIE 140, 2000. Cálculo para la iluminación de vías públicas, Comisión Internacional de Iluminación reporte técnico 115.
5. PUBLICACIONES DE LA CIE 115, 1995. Recomendaciones para el alumbrado de calzadas de tráfico motorizado y peatonal, Comisión Internacional de Iluminación reporte técnico 115.

TESIS:

1. BEJARANO BEJARANO, NÉSTOR ÁNGEL. (2011) “Diseño de un sistema de generación eléctrica solar para la iluminación externa del modular de la escuela de ingeniería en ecoturismo” (tesis de Ingeniero Mecánico) Riobamba – Ecuador Escuela Superior Politécnica de Chimborazo Facultad de mecánica Escuela de ingeniería mecánica.
2. MOGROVEJO ROJAS, Paulo César; QUIZHPE LIMA, Diego Gustavo (2007). Diseño y Construcción de un Sistema Prototipo para el Bombeo de agua mediante energía Solar. (Tesis Ing. Electromecánica) Loja, Ecuador, Universidad Nacional de Loja, Área de la Energía, las Industrias y los recursos naturales no renovables.

ENCARTA 2009

1. MICROSOFT ENCARTA 2009. Microsoft Corporation. Reservados todos los derechos. Presión atmosférica y el viento.

PAGINAS WEB:

1. EDISON UPC 2004. Lámparas con LED de Alta Intensidad para Iluminación de Calles y Vialidades (www.edison.upc.edu)
2. RAMIRO ÁLVAREZ SANTOS 1999. Mecánica aplicada, escuela de ingenieros técnicos de telecomunicación BOE 9-3-1999, RD 279/99 de 22 de febrero. www.la-moncloa.es-urlogob-energia.html.

k. ANEXOS

Anexo 1. Equipos para el prototipo

Luminaria led LU2



Sistema de sujeción de los paneles



Controlador de carga



Cajas de batería



Sistema de iluminación



Anexo 2. Mediciones con luxómetro



Valor en el punto P3



Valor en el punto P5



Anexo 3. Instalación de equipos

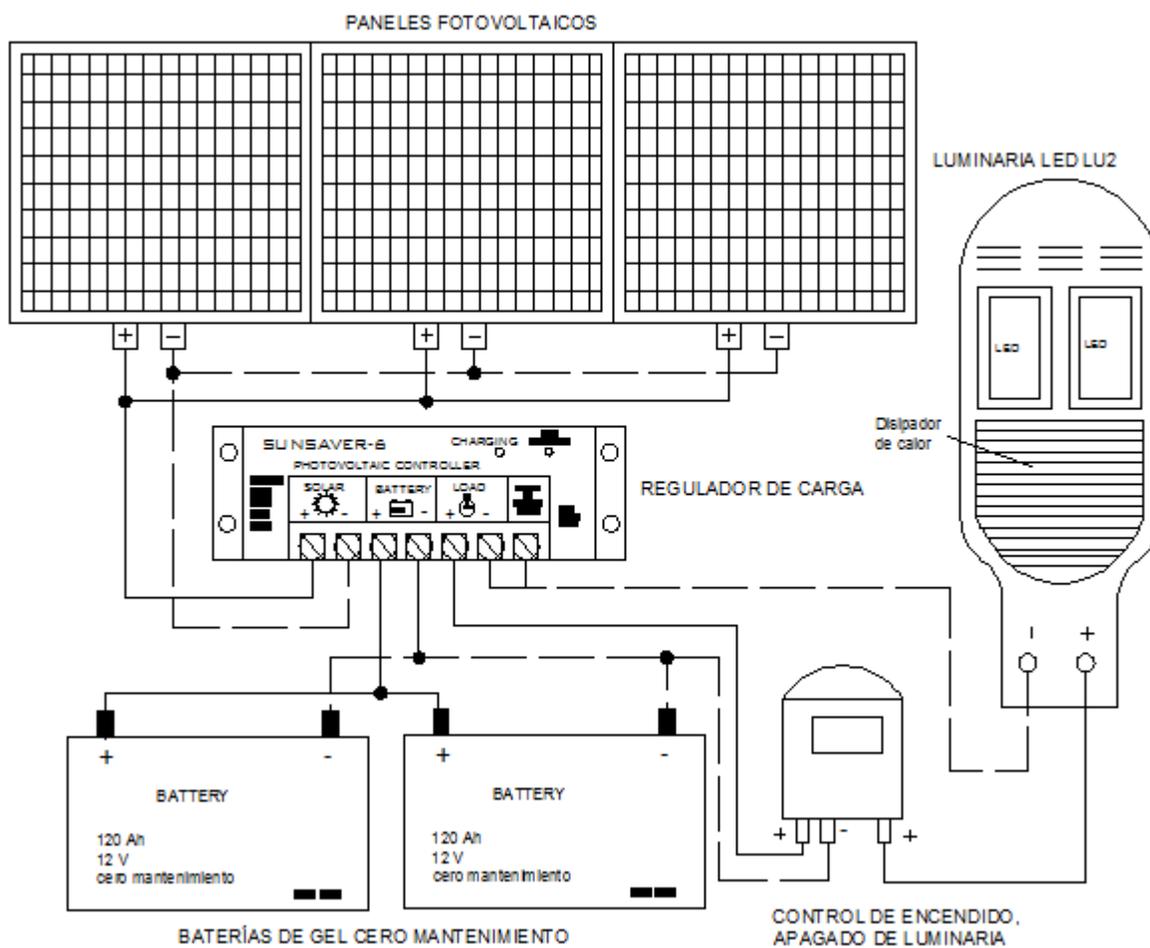
Instalación de los paneles



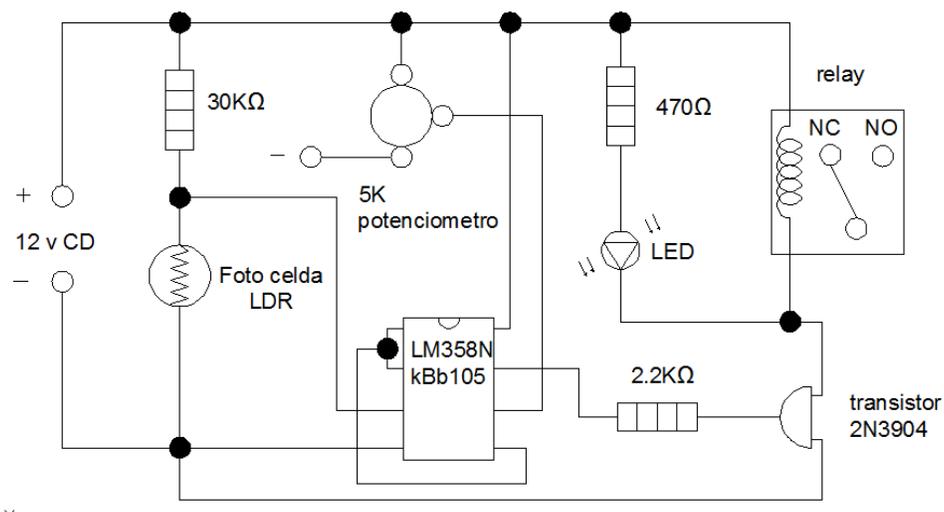
Sistema instalado



Anexo 4. Esquema de conexiones del sistema



Circuito electrónico para el encendido y apagado de la luminaria



Anexo 5. Datos de radiación incidente del emplazamiento

Nuestra tesis se basa en los datos de insolación obtenidos por el Atlas Solar del Ecuador publicado por el CONELEC. Los datos fueron recolectados entre enero de 1985 y diciembre de 1991, siendo publicados a mediados de 2006. Representan la energía solar promedio mensual y anual proveniente de la insolación directa, difusa y global incidente sobre una superficie horizontal, expresadas en Wh/m²/día. En la elaboración de este documento, se filtraron los datos del Laboratorio Nacional de Energías Renovables de los Estados Unidos NREL, limitándolos a la superficie del territorio continental ecuatoriano, que fueron posteriormente exportados a un sistema de información geográfica (GIS), en el cual se realizó su posterior procesamiento estadístico. Estas mediciones presentan un comportamiento determinado, que dictamina el método de interpolación y aumenta la resolución de las secciones cuadradas, dividiendo a las mismas en cuadrados de 1km² de superficie, en los cuales se pueden proyectar valores Específicos. Se presenta la tabla del mes de Junio con la menor insolación global en el año, tomada del Atlas Solar del Ecuador. Para los cálculos, se tomará como emplazamiento la Provincia de Loja donde se encuentra ubicada la Universidad Nacional de Loja, cuya ubicación es latitud -4°00 S y longitud -79°12 O, los valores de insolación se definen en la tabla siguiente:

Tabla 1: Insolación Promedio 10 Años en el Ecuador en [kWh m-2día-1]

Datos de radiación Global.

Aproximación de la radiación global Loja (KWh/m2/día)													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Global	3,76	3,99	3,98	3,87	3,84	3,53	3,79	4,17	4,29	4,08	4,26	4,05	3,96

Tabla 2: Índice de claridad promedio 10 Años

Aproximación de la radiación global (KWh/m2/día)de acuerdo al Anexo A													
Mes	Ene	Feb	Mar	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agos	Sep	Oct	Nov	Dic	Anual
Radiación Global	3,76	3,99	3,98	3,87	3,84	3,53	3,79	4,17	4,29	4,08	4,26	4,05	3,96

Anexo 6. Diagrama de medición de la velocidad el viento con respecto a los meses del año 2009.

Estación meteorológica la Argelia

		Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Velocidad máxima del viento	m/s	3,2	3,2	2,4	3,5	4,3	4,5	5,2	4,8	4,7	3	2,8	3
Velocidad media del viento	m/s	1,1	1,8	1,3	2	1,6	3,1	3,8	3	4	1,5	1,7	1,5

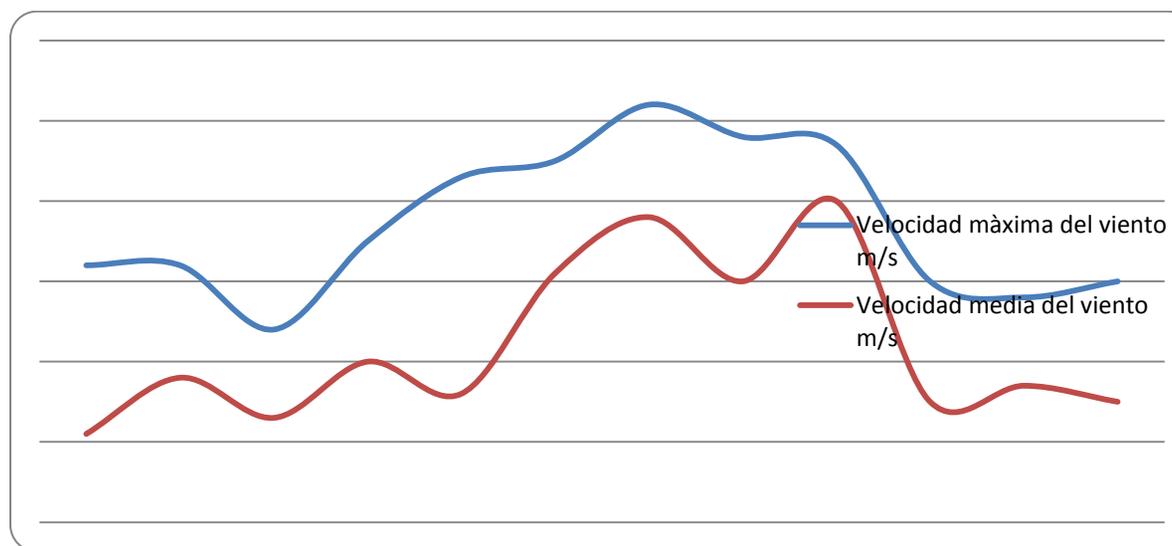


Diagrama de la velocidad del viento respecto al año 2009

Anexo 7.

REGULACIÓN No. CONELEC 008/11

EL DIRECTORIO DEL CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD

CONELEC

Considerando:

Que, los artículos 30 y 31 de la Constitución de la República del Ecuador, preceptúan que las personas tienen derecho a un hábitat seguro y al disfrute pleno de la ciudad y sus espacios públicos;

Que, el segundo inciso del Artículo 3 del Mandato Constituyente No. 15 dispone: «El Fondo de Electrificación Rural y Urbano Marginal -FERUM, se financiará con recursos del Presupuesto General del Estado, por lo que a partir de la expedición del presente Mandato, el Ministerio de Finanzas entregará al Fondo de Solidaridad, los recursos necesarios, de conformidad con los planes de inversión aprobados de conformidad con el procedimiento previsto en el Mandato No. 9. En los planes de inversión se incluirá el alumbrado público»;

Que, el señor Procurador General del Estado mediante Oficio No. 026202, de 14 de julio de 2006, absuelve la consulta formulada por el CONELEC señalando que «... las Administraciones Municipales carecen de facultad legal para regular y controlar la prestación del servicio de alumbrado público, por corresponder dicha competencia al Consejo Nacional de Electricidad, CONELEC»;

Que, el alumbrado público es un servicio de importancia para la colectividad que permite la movilidad de las personas, de los vehículos por las vías públicas y provee seguridad a los ciudadanos;

Que, por las características especiales del alumbrado público, se deben normar los aspectos técnicos, económicos y financieros para la prestación del servicio a fin de que este se lo preste con calidad y a un precio justo;

Que, la Comisión Internacional de Iluminación – CIE ha emitido normas a través de las cuales ha determinado niveles de calidad de los parámetros fotométricos, metodología para la medición y diseño del alumbrado que se utiliza en vías peatonales y vehiculares;

Que, de conformidad con la absolución de la Procuraduría General del Estado, le corresponde al CONELEC emitir una Regulación que contenga normas relacionados con aspectos técnicos, en las que se especifiquen las responsabilidades y el alcance de la prestación del servicio de alumbrado, por parte de las diferentes instituciones y empresas involucradas en la misma; y,

En ejercicio de sus facultades,

Resuelve:

Emitir la Regulación denominada «**Prestación del Servicio de Alumbrado Público General**».

1. OBJETIVO

Normar las condiciones técnicas, económicas y financieras que permitan a las Distribuidoras de energía eléctrica prestar el servicio de alumbrado público general con calidad, eficiencia y precio justo.

2. ALCANCE

Las Distribuidoras de energía eléctrica, como prestadoras del servicio; los consumidores, como responsables del pago de este servicio; los municipios como responsables del espacio público y control de tránsito; y, la Policía Nacional o la autoridad de tránsito competente, como responsable del sistema de semaforización, deberán observar lo dispuesto en la presente Regulación

3. DEFINICIONES

Las definiciones que se muestran servirán para la aplicación de la presente Regulación.

3.1. Alumbrado Público

Constituye la iluminación de zonas, públicas o privadas, destinadas a la movilidad, ornamentación y seguridad; incluye al alumbrado público general, ornamental e intervenido.

3.2. Alumbrado Público General

Es la iluminación de vías, de libre acceso para todas las personas y/o vehículos. Excluye la iluminación de las zonas comunes de unidades inmobiliarias cerradas, declarada como propiedad horizontal, la iluminación pública ornamental e intervenida.

3.3. Alumbrado Público Ornamental

Constituye la iluminación de zonas como parques, plazas, iglesias, monumentos y todo tipo de espacios, cuya iluminación se aparta de los niveles establecidos en la presente Regulación, dados que estos obedecen a criterios estéticos determinados por el municipio o por el órgano estatal competente.

3.4. Alumbrado Público Intervenido

Constituye la iluminación de vías que, debido a planes o requerimientos municipales, no cumplen los niveles de iluminación establecidos en la presente regulación y/o requieren de una infraestructura constructiva distinta de los estándares establecidos para el alumbrado público general.

3.5. Flujo luminoso (Φ)

Se define el flujo luminoso como la potencia (W) emitida en forma de radiación luminosa a la que el ojo humano es sensible. Su símbolo es FI (Φ) y su unidad es el lumen (lm).

3.6. Iluminancia (E)

Se define iluminancia como el flujo luminoso recibido por una superficie. Su símbolo es E y su unidad el lux (lx) que es un lm/m².

3.7. Intensidad luminosa (I)

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).

3.8. Luminancia (L):

Se llama luminancia a la relación entre la intensidad luminosa y la superficie aparente vista por el ojo en una dirección determinada. Su símbolo es L y su unidad es la cd/m^2 (candela sobre metro cuadrado).

3.9. Deslumbramiento

Condición de visión en la cual existe incomodidad o disminución en la capacidad para distinguir objetos, debido a una inadecuada distribución o escalonamiento de luminancias, o como consecuencia de contrastes excesivos en el espacio o en el tiempo. La excesiva luminancia de lámparas y de superficies iluminadas, puede generar deslumbramiento y reducir el contraste de los objetos.

3.10. Zonas de Conflicto

Lugares en los cuales los criterios de iluminación son de difícil aplicación tales como: cruce de vías, redondeles, o vías diseñada especialmente para aplicaciones particulares como ciclorrutas, paseos de parque, entre otros.

4. ASPECTOS TÉCNICOS

La iluminación pública deberá considerar los siguientes parámetros y niveles para vías vehiculares y peatonales.

4.1. VÍAS CON TRÁFICO MOTORIZADO

4.1.1. Parámetros fotométricos

4.1.1.1. Luminancia promedio de la calzada (L_{av})

La luminancia promedio se calcula como el promedio aritmético de las luminancias obtenidas en cada uno de los puntos de cálculo. Este es el valor mínimo que debe ser mantenido a lo largo de la vida de la instalación, y depende de la distribución de la luz de la luminaria, el flujo luminoso de las lámparas y de las propiedades de reflexión de la calzada. Valores superiores pueden aceptarse si pueden justificarse económicamente¹. El cálculo y la medición de la luminancia promedio de la calzada deben efectuarse de acuerdo con la norma CIE 140-2000.

¹. Los valores calculados deben tener en cuenta la luminaria y los factores de mantenimiento de la lámpara. Los factores de mantenimiento de la luminaria varían de acuerdo con el intervalo de limpieza escogido, la polución atmosférica y la calidad del sellado del compartimiento óptico de la luminaria. Sus valores pueden establecerse mediante mediciones de campo. Los factores de mantenimiento del flujo luminoso de la lámpara varían de acuerdo con el tipo de lámpara y su potencia. Estos valores los suministra, generalmente, el fabricante de lámparas.

4.1.1.2. Uniformidad general de luminancia de la calzada (U_o)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia promedio de la vía. Su valor depende de los mismos factores de luminancia promedio.

4.1.1.3. Uniformidad longitudinal sobre la calzada (U_L)

Es la relación entre la luminancia mínima y la luminancia máxima, medidas o calculadas en dirección longitudinal a lo largo del eje central de cada carril de circulación. El número de puntos y la distancia entre ellos deberán ser iguales a los utilizados para el cálculo de la luminancia promedio de la calzada. Se mide o se calcula de acuerdo con la norma CIE 140-2000 y su valor depende de los mismos factores que L_{av} .

4.1.1.4. Deslumbramiento (TI)

El deslumbramiento se lo cuantifica a través del incremento de umbral.

El incremento de umbral TI se calcula para el estado inicial de la instalación, mediante la siguiente fórmula:

$$Ti = \frac{k \cdot E_e}{L_{va} \times \theta^2} \%$$

Dónde:

- k es una constante que varía con la edad del observador se usará el valor de 650^2 ;
- E_e es la iluminancia total inicial producidas por las luminarias, en su estado nuevo, sobre un plano normal a la línea de visión y a la altura del ojo del observador.

² Corresponde a la edad de un observador de 23 años. La fórmula genérica es: $k = 641 \times \left(1 + \frac{A}{66.4}\right)^4$ en donde A es la edad del observador

- L_{av} es la iluminancia inicial promedio.
- θ es el ángulo en grados formado entre la línea de visión y el centro de cada luminaria.

4.1.1.5. Relación de alrededores (SR)

Es la relación de la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o menor en espacios que no permite) cada una adyacente a los dos bordes de la calzada (fuera de la calzada) para la iluminancia promedio en bandas de 5 m de ancho (o la mitad del ancho si es inferior) dentro de la calzada. Para calzadas dobles, ambas calzadas se deben tratar conjuntamente como si fueran una única, a menos que estén separadas por más de 10 m.

En los casos donde exista una iluminación propia de los alrededores, la utilización de la relación SR no es necesaria.

4.2. MEDICIONES

Las Distribuidoras, previo a la entrada en operación de una obra de alumbrado público general, deberán realizar las mediciones necesarias para constatar los niveles de iluminación reales del proyecto. La Distribuidora es responsable de que la obra que ponga en funcionamiento cumpla con los niveles establecidos en la presente Regulación.

El procedimiento para la verificación de las medidas se lo hará en función de lo establecido en la norma CIE 140-2000. Los instrumentos de medida que se utilicen deben cumplir las características determinadas en la norma CIE 69.

Certifico que esta Regulación fue aprobada por el Directorio del CONELEC, mediante Resolución No. 083/11, en sesión de 24 de noviembre de 2011.

Lcdo. Carlos Calero Merizalde

Secretario General del CONELEC

Anexo 8 Matriz de consistencia específica

PROBLEMA ESPECÍFICO: “cuáles son las características de una luminaria para brindar una iluminación óptima”.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	SISTEMA CATEGORIAL
Determinar las características de potencia, flujo luminoso, rendimiento y tensión de la luminaria LED.	Lámparas LED para exteriores	Las características de la iluminaria serán: una carga de 75W con 5,300 lúmenes, rendimiento luminoso de 80 lm/w y una tensión de 12 V. con lo cual brindaremos una iluminación óptima en las vías	-Iluminarias de diodos LED para exteriores - Características

PROBLEMA ESPECÍFICO: “Qué tipo de batería se utiliza para el almacenamiento de energía eléctrica del sistema”.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	SISTEMA CATEGORIAL
Establecer una batería que nos brinde la potencia, capacidad y tensión necesaria para la carga del sistema de iluminación de vías	Baterías	Con la elección de la batería de ciclo profundo sellada se brindará 12 voltios de corriente continua con una capacidad de 20 HR y una potencia de 120 Ah.	-Baterías - Principio de funcionamiento. -Tipos de baterías - Efecto memoria - Batería como contaminante

PROBLEMA ESPECÍFICO: “Cómo se puede controlar el flujo de energía eléctrica desde el panel hacia la batería”.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	SISTEMA CATEGORIAL
Establecer un controlador de del flujo de energía eléctrica.	Controlador de carga	Con el controlador de carga se podrá controlar la carga y descarga de la batería y asegurar la vida útil de la misma.	-controlador de carga - Características de los controladores de carga.

PROBLEMA ESPECÍFICO: “Cuál es la orientación de los paneles solares para su mayor rendimiento”.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	SISTEMA CATEGORIAL
Establecer la orientación más apropiada del panel solar para generar la potencia necesaria.	Paneles fotovoltaicos	Se logrará el mayor rendimiento de los paneles a una inclinación con respecto al sol de 15 grados sobre la horizontal garantizando 50 W	-Paneles fotovoltaicos - Eficiencia y conversión de energía. - fabricación de paneles convencionales.

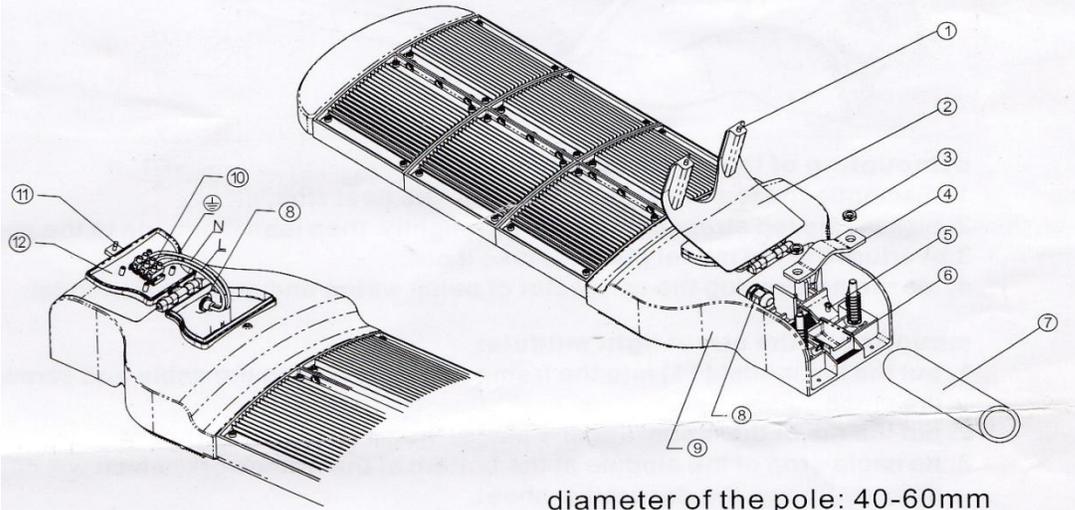
PROBLEMA ESPECÍFICO: “Planificación y simulación del sistema de iluminación solar fotovoltaico para vías de circulación vehicular de la ciudad de Loja”.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	SISTEMA CATEGORIAL
Realizar una planificación adecuada de las luminarias LED fundamentándose en las normas CIE 115-34-132-140, IEC 60598 -2-3/2002 para el alumbrado de vías públicas de circulación vehicular y aplicar una simulación con herramientas CAD	Planificación de iluminación Luminotecnia Disposición de los postes. Software (DIALux)	Con una correcta planificación se proporcionará la visibilidad adecuada para el normal desarrollo de las actividades, y una visión confortable. También con la simulación contrastaremos los valores de iluminancias. 9.5 (lux) máximo; 7,5 (lux) media; 1,5 (lux) puntual	-Planificación de luminarias -Distancia de luminarias -Altura de montaje de la luminarias -Luminotecnia -Normas CIE - DIALux -cálculo de alumbrado publico

PROBLEMA ESPECÍFICO: Eficiencia y beneficios del sistema de iluminación solar fotovoltaico comparado con el sistema de iluminación convencional”.			
OBJETIVO ESPECÍFICO	UNIDAD DE OBSERVACIÓN	HIPÓTESIS ESPECÍFICO	SISTEMA CATEGORIAL
Analizar en una forma comparativa la eficiencia energética del consumo de alumbrado público, costos, medio ambiente, mantenimiento, nivel de luminancia y uniformidad.	Iluminación por LED Iluminación por sodio	Con el análisis comparativo de los sistemas de iluminación podremos tener en claro que los diodos tienen un rendimiento de 80%, la vida útil es de 5 a 10 veces más, los luxes es 2,5 veces mayor que las lámparas de vapor de sodio, que no contamina el medio ambiente por qué no contiene plomo ni mercurio	-lámparas de diodos LED - lámparas de sodio -lámparas de mercurio

Anexo 9 CATÁLOGOS

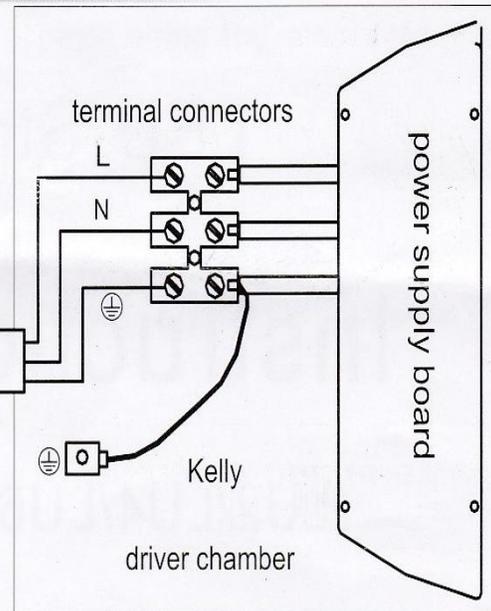
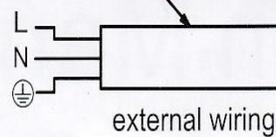
Installation diagram of the lamp and pole (take LU6 for example)

- | | | |
|-----------------|------------|-----------------------|
| ① M5 screw | ⑤ M5 screw | ⑨ lamp base |
| ② Plastic cover | ⑥ Adjustor | ⑩ terminal connectors |
| ③ M10 nut | ⑦ Pole | ⑪ M5 screw |
| ④ Hoop | ⑧ Fix nut | ⑫ Tailstock cover |



Wiring sketch

The wiring connection is just like a shape of Z. the external soft wiring cable can not be replaced. supposing it is damaged, the lamp have to be scrapped. Lamp guiding is 60245 OEC57 (YZW), specification is 3X1.0mm. 8-10mm is the external diameter for Above three-core cable



Warning. Columniform rubber covered wire should be used as the external wiring for user port.