

**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO**

**CARRERA:
ELECTRICIDAD**

**TRABAJO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:
INGENIERO ELÉCTRICO**

**TEMA:
DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO Y ORNAMENTAL EN
BASE A LA NORMA CIE DENTRO DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO**

**AUTOR:
JOSÉ ESTEBAN FLORES FLORES**

**TUTOR:
IVÁN PATRICIO MONTALVO GALÁRRAGA**

Quito, noviembre del 2021

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Yo José Esteban Flores Flores, con documento de identificación N° 1727041699, manifiesto mi voluntad y cedo a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que soy autor del trabajo de titulación: **DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO Y ORNAMENTAL EN BASE A LA NORMA CIE DENTRO DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO**, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingeniero Eléctrico, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'José Esteban Flores Flores', is written over a horizontal dashed line.

José Esteban Flores Flores

CI. 1727041699

Quito, noviembre del 2021.

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo Iván Patricio Montalvo Galárraga declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Proyecto Técnico, **DISEÑO DEL SISTEMA DE ALUMBRADO PÚBLICO Y ORNAMENTAL EN BASE A LA NORMA CIE DENTRO DE UN CAMPUS UNIVERSITARIO**, realizado por José Esteban Flores Flores, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.



Iván Patricio Montalvo Galárraga

C.I. 1716480916

Quito, noviembre de 2021

DEDICATORIA

Este proyecto va dedicado a mis queridos padres: Aquiles y Sonia quienes me han permitido estudiar la carrera de mis sueños, apoyándome día y noche en los buenos y los malos momentos, cubriendo mis necesidades sin importar el sacrificio que implique, igualmente incluyo a mis abuelitos: Manuel y María quienes están en el cielo y han sido mis ángeles de la guarda. Todos ellos han sido de ejemplo para ser una persona humilde y perseverante que hoy gracias a dios se convierte en todo un profesional.

También quiero dedicarlo a mi sobrina Isabella que me ve como su ejemplo a seguir, a mis amigos de la U que me han apoyado y han sido mis cómplices durante toda la carrera universitaria, a Kathy la persona que estuvo a mi lado en los buenos y en los malos momentos, quien supo apoyarme en todo momento sin importar las circunstancias y a brindarme una mano para levantarme y seguir luchando por mis sueños.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco primeramente a Dios por permitirme lograr este sueño y lograr sobrevivir la pandemia, de igual manera a mis padres quedo eternamente agradecido por haberme apoyado en todo el trayecto, enseñándome los valores y principios que han servido para ser una buena persona y no rendirme ante las adversidades que se presenten en el día a día para lograr cumplir mis objetivos.

Adicionalmente quiero agradecer a cada una de las personas que han aportado un granito de arena para culminar mis estudios, a mi amigo Washo que apoyo incondicionalmente desde que empecé esta travesía para poder lograr esta meta.

Finalmente, a mis maestros de universidad y colegio que compartieron con sus conocimientos para poder formarme profesionalmente y personalmente gracias a ellos he aprendido que el querer es poder cuando se trata de lograr lo que uno se propone, por último, quiero agradecer infinitamente a mi tutor el ingeniero Iván Montalvo por su guía en la elaboración de este proyecto haciendo posible mi sueño de ser ingeniero eléctrico.

ÍNDICE

GLOSARIO	x
RESUMEN.....	xi
ABSTRACT.....	xii
INTRODUCCIÓN	xiii
CAPÍTULO I TRABAJOS RELACIONADOS	1
1.1 ALUMBRADO PÚBLICO.....	1
1.2 CLASIFICACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO	3
1.3 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO A NIVEL MUNDIAL	3
1.4 FENOMENOLOGÍA ARQUITECTÓNICA	4
1.5 ILUMINACIÓN	7
CAPÍTULO II PARÁMETROS DE DISEÑO	12
2.1 CONCEPTOS LUMINOTÉCNICOS.....	12
2.2 NORMATIVA	14
2.2.1 CIE-115	15
2.2.2 ITC-EA.....	18
2.2.3 THE LIGHTING HANDBOOK y UNE.....	19
2.2.4 Empresa Eléctrica Quito SA	20
2.3 METODOLOGÍA	21
2.3.1 Método de los lúmenes o el factor de utilización.....	21
2.3.2 Método de los 9 puntos	24
CAPÍTULO III CRITERIO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN..	28
3.1 DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO VIAL	28
3.2 DISEÑO DE ALUMBRADO DE PARQUEADEROS.....	33
3.3 DISEÑO DE ALUMBRADO ORNAMENTAL	35

3.4 SOLICITUD DE LA INSTITUCIÓN.....	42
3.5 CANCHAS DEPORTIVAS.....	45
CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS.....	48
4.1 ALUMBRADO PÚBLICO	48
4.1.1 RESULTADOS ALUMBRADO PÚBLICO.....	59
4.2 ALUMBRADO DE PARQUEADEROS.....	61
4.2.1 RESULTADOS DE LA ILUMINACIÓN DE PARQUEADEROS.....	67
4.3 ALUMBRADO ORNAMENTAL.....	68
4.3.1 ÁREAS VERDES	68
4.3.3 SENDEROS, CAMINOS Y ESCALERAS.....	73
4.3.4 ALUMBRADO DECORATIVO	75
4.3 SOLICITUD DE LA INSTITUCIÓN.....	76
4.3 CANCHAS DEPORTIVAS.....	80
CONCLUSIONES	84
RECOMENDACIONES	86
REFERENCIAS.....	87
ANEXOS	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Alumbrado público	xvii
Figura 2 Evolución del alumbrado público	2
Figura 3 Curva de visión fotópica, fuente “Luz y emociones de Vincent Laganier” ..	6
Figura 4 Espectro electromagnético, fuente “Luz y emociones de Vincent Laganier”7	
Figura 5 Contaminación lumínica fuente La República EC	11
Figura 6 Rango de temperatura de color	14
Figura 7 Diagrama de flujo del método de los lúmenes	21
Figura 8 Método del factor de utilización	22
Figura 9 Curva del factor de utilización.....	23
Figura 10 Determinación de la calzada	24
Figura 11 Distribución de puntos dentro de la calzada	25
Figura 12 Planos del campus universitario	29
Figura 13 Asignación de áreas verdes.....	36
Figura 14 Determinación del parqueadero para iluminación fotovoltaica.....	43
Figura 15 Determinación del área verde para la iluminación fotovoltaica	44
Figura 16 Determinación de las canchas deportivas	46
Figura 17 Fotometría de la luminaria de la entrada principal	49
Figura 18 Tipo de montaje de la entrada principal	49
Figura 19 Resultados de la entrada principal	50
Figura 20 Simulación de la entrada principal	51
Figura 21 Fotometría implementada en la entrada lateral.....	51
Figura 22 Tipo de montaje de la entrada principal	52
Figura 23 Resultados de la calzada lateral	53
Figura 24 Simulación de la entrada lateral.....	53
Figura 25 Fotometría implementada en la unión entre parqueaderos	54
Figura 26 Tipo de montaje de la unión entre parqueaderos	54
Figura 27 Resultados de la calzada de unión entre parqueaderos	55
Figura 28 Simulación de la entrada de parqueaderos.....	56
Figura 29 Simulación completa de la entrada de parqueaderos	56
Figura 30 Fotometría implementada en la zona interna.....	57
Figura 31 Tipo de montaje de la unión de la zona interna	57

Figura 32 Resultados de la calzada del acceso interno	58
Figura 33 Simulación completa de la zona interna	59
Figura 34 Simulación de la zona interna.....	59
Figura 35 Fotometría de las luminarias de los parqueaderos	62
Figura 36 Tipo de montaje empleado en los parqueaderos.....	62
Figura 37 Simulación del parqueadero principal	63
Figura 38 Resultados luminotécnicos del parqueadero principal	64
Figura 39 Simulación del parqueadero lateral	64
Figura 40 Resultados luminotécnicos del parqueadero lateral.....	65
Figura 41 Simulación del parqueadero general.....	65
Figura 42 Resultados luminotécnicos del parqueadero general.....	66
Figura 43 Simulación del resto de parqueaderos	66
Figura 44 Resultados luminotécnicos del resto de parqueaderos.....	67
Figura 45 Tipo de montaje de las áreas verdes	69
Figura 46 Simulación completa del área verde lateral	70
Figura 47 Simulación del área verde lateral.....	70
Figura 48 Resultados luminotécnicos del área verde lateral.....	71
Figura 49 Simulación de las áreas verdes restantes	71
Figura 50 Resultados luminotécnicos del resto de áreas verdes	72
Figura 51 Luminaria empleada para caminos y escaleras.....	73
Figura 52 Simulación de los aminos y senderos	74
Figura 53 Resultados luminotécnicos de caminos y senderos.	74
Figura 54 Simulación del edificio principal.....	76
Figura 55 Simulación del edificio lateral	76
Figura 56 Fotometría fotovoltaica.....	77
Figura 57 Simulación del parqueadero solicitado.....	78
Figura 58 Resultados luminotécnicos del parqueadero solicitado	78
Figura 59 Simulación del área verde solicitada	79
Figura 60 Resultados luminotécnicos del área verde solicitada.....	80
Figura 61 Tipo de montaje de las canchas	81
Figura 62 Simulación de la cancha principal	81
Figura 63 Simulación de la cancha general.....	82
Figura 64 Resultados luminotécnicos de la cancha principal	82

Figura 65 Resultados luminotécnicos de la cancha general.....	82
---	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Niveles de iluminación para vigilancia nocturna.....	19
Tabla 2 Factor de altura.....	22
Tabla 3 Disposición de luminarias.....	22
Tabla 4 Factor de mantenimiento.....	23
Tabla 5 Fórmulas para e tipo de disposición de la calzada.....	26
Tabla 6 Parámetros para la selección de las vías clase M.....	31
Tabla 7: Localización de los parqueaderos.....	34
Tabla 8 Niveles de iluminación para el tipo de lugar de trabajo, tarea o actividad al aire libre.....	34
Tabla 9 Nivel de iluminación para vigilancia nocturna.....	37
Tabla 10 Niveles de iluminación para pasos peatonales.....	40
Tabla 11 Niveles de iluminación de gradas.....	40
Tabla 12 Niveles de iluminación para eventos no televisados.....	45
Tabla 13 Resultados en base a la normativa CIE-115.....	59
Tabla 14 Resultados en base a la normativa EEQSA.....	60
Tabla 15 Resultados en base a la normativa EEQSA.....	60
Tabla 16 Resultados de los parqueaderos.....	67
Tabla 17 Resultado de las áreas verdes.....	73
Tabla 18 Resultados de caminos y senderos.....	75
Tabla 19 Resultado del parqueadero solicitado.....	78
Tabla 20 Resultado del área verde solicitada.....	80
Tabla 21 Resultados de las canchas deportivas.....	83

GLOSARIO

- **Luminancia:** Cantidad de flujo luminoso que incide sobre una superficie en un área determinada. [1]
- **Iluminancia:** Cantidad de luz procedente de un objeto iluminado que el ojo humano percibe desde un punto de vista en particular. [2]
- **Uniformidad:** Distribución de la iluminación en un espacio determinado. [2]
- **EEQSA:** Empresa Eléctrica Quito SA.
- **AP:** Alumbrado Público.
- **CIE:** Comisión Internacional de la Iluminación en francés (Commission internationale de l'éclairage) [3]
- **MEER:** Ministerio de Electricidad y Energía Renovable del Ecuador.
- **HID:** High Intensity Discharge.
- **DAI:** Descarga de Alta Intensidad.
- **ARC:** Agencia de Regulación y Control de Energía y Recursos Naturales No Renovables.
- **REBT:** Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión en España
- **CTN:** Comités Técnicos de Normalización.

RESUMEN

El presente trabajo desarrolla el diseño del sistema de alumbrado público y ornamental de las instalaciones del campus universitario bajo parámetros de calidad en base a normativas internacionales y locales. Para el alumbrado público se empleará la norma CIE-115 la cual es considerada la norma madre, ya que varias de las empresas distribuidoras a nivel mundial utilizan las mismas recomendaciones para sus normativas locales. Mientras que para el alumbrado ornamental al no contar con una normativa su diseño será en base a criterios de la institución, cumpliendo con la ordenanza del ARCONEL-007.

La institución educativa en la cual se va a realizar el proyecto cuenta con un sistema de iluminación deficiente y tecnología anticuada, lo cual no beneficia a su aspecto estético. Por tal motivo se plantea el diseño del sistema de iluminación, mejorando el aspecto estético del campus universitario. Utilizando luminarias de tecnología LED las cuales ofrecen un mayor rendimiento lumínico en comparación con las tecnologías tradicionales a base de mercurio y sodio. En este proyecto se realizó el levantamiento planimétrico de todo el campus para posteriormente pasar a las diferentes simulaciones de los escenarios dentro de la institución y lograr obtener una iluminación que cumpla con todos los parámetros de calidad que recomiendan las normativas.

ABSTRACT

This work develops the design of the public and ornamental lighting system of the university campus facilities under quality parameters based on international and local regulations. For public lighting, the CIE-115 standard will be used, which is considered the mother standard, since several of the distribution companies worldwide use the same recommendations for their local regulations. While for ornamental lighting, since it does not have a regulation, its design will be based on the criteria of the institution, complying with the ordinance of ARCONEL-007.

The educational institution in which the project is to be carried out has a poor lighting system and outdated technology, which does not benefit its aesthetic appearance. For this reason, the design of the lighting system is proposed, improving the aesthetic aspect of the university campus. Using LED technology luminaires which offer a higher light output compared to traditional technologies based on mercury and sodium. In this project, the planimetric survey of the entire campus was carried out to later move on to the different simulations of the scenarios within the institution and achieve lighting that meets all the quality parameters recommended by the regulations.

INTRODUCCIÓN

El alumbrado público (AP) conforma una parte muy importante dentro del Sistema Eléctrico de Potencia (SEP), debido que ha sido un tema importante por el consumo de energía en todos los países en los últimos años, puesto que su objetivo es permanecer constantemente encendido durante la noche, brindando una iluminación de calidad que aporte seguridad debido a que es fundamental para el correcto desenvolvimiento de una sociedad. [4]

El alumbrado público al considerarse una carga constante, puede llegar a representar una gran parte de la factura total en las ciudades de todo el mundo. Logrando ser una consideración clave para cualquier distribuidora local, desde varias perspectivas, ya que incluyen cuestiones ambientales, de seguridad y económicas.[5] La iluminación de las calles son requisitos importantes de seguridad para evitar accidentes, e igualmente cumplen un rol específico en la reducción de delitos durante toda la noche. [6]

Dentro de los parámetros de iluminación se tiene en cuenta a la contaminación visual y lumínica que pueden convertirse en una problemática y debe ser solventada bajos criterios de ingeniería.[7] La contaminación lumínica, también conocida como foto contaminación, es simplemente una iluminación eléctrica desperdiciada e inquietante de alto nivel. La mayoría de las veces es el resultado de una iluminación exterior mal planificada y diseñada, que permite que la luz de fuentes artificiales se extienda hacia arriba, en dirección al cielo donde la luz se desperdicia, en lugar de apuntar a lugares y objetos que deberían iluminarse correctamente.[8]

A medida que la sociedad se desarrolla, nuevas tendencias tecnológicas van surgiendo, apuntando a ofrecer mejoras que ayuden a la calidad en la vida de los usuarios en sí. El caso del AP no es la excepción, ya que ha ido evolucionando constantemente desde las aparición de las primeras lámparas que eran alimentadas por gas, hasta las actuales que son las HID (High Intensity Discharge) de alta intensidad de descarga de luz amarilla usada comúnmente en todos los proyectos de AP.[9][10]

Al tratarse de un campus universitario es fundamental lograr una correcta iluminación que cubra todos los espacios, resaltando especialmente las obras arquitectónicas ya que esto causara un mayor impacto hacia los usuarios, brindando especialmente una apariencia innovadora y elegante. El rol principal de la iluminación arquitectónica es asegurar el reconocimiento de las superficies y de los objetos iluminados, formando simultáneamente una visión nocturna consistente y completa.[11]

Actualmente la tecnología LED ha incursionado y ganando terreno en el ámbito del AP ya que al ser una tecnología mucho más eficiente con un bajo consumo de energía y ofreciendo un mayor iluminación es conveniente y factible para los usuarios.[12] Además con una extensa cantidad de colores, lo cual es apropiado para el uso dentro de un campus universitario donde se pretende resaltar las obras arquitectónicas hacia vista de los usuarios.[13]

Los estudios recientes realizados sobre el AP, para motivo del presente trabajo del sistema de iluminación son esfuerzos principalmente enfocados en correcto uso de las luminarias para brindar una iluminación uniforme resaltando las fachadas. Los trabajos de Petrinska [14] y Wang [9] realizan un proyecto similar sobre y detallado sobre la iluminación arquitectónica y ornamental. Ambos estudios abordan la metodología y el modelamiento para los correctos criterios arquitectónicos y artísticos de iluminación correcta. A demás se plantea un mismo objetivo enfatizando que la iluminación arquitectónica en casos específicos es hacer que la visión nocturna del edificio sea agradable y atractiva, creando la sensación de comodidad y respeto en estudiantes y trabajadores. Adicionalmente proporcionan un estado de relajación mental y visual, lo cual genera una regulación en el sistema cardíaco de los seres humanos.

Por otro lado, los trabajos de Ivanov[15] , Petrinska [16] Laurie Wu [17] proponen un criterio en común sobre al momento de diseñar la iluminación arquitectónica, en la que se utilizan elementos adecuados y no solo se persigue la idea artística. Habiendo otros puntos de vista del problema, llamados contaminación lumínica, considerándose así un problema importante que debe tenerse en cuenta en el diseño de iluminación arquitectónica, ya que no solo porque provoca trastornos circadianos, sino también por

la cantidad significativa de energía eléctrica desperdiciada. De tal manera hacen énfasis fundamental en la elección de las fuentes de luz adecuadas.

Los trabajos mencionados establecen que el AP y ornamental no es cuestión de simplemente llenar de varias luminarias los edificios y las áreas verdes, sino que hay que tener mucho cuidado sobre la perspectiva que se va a dar y el impacto que este generará en las personas que gocen de dichas instalaciones. A todo esto, se agrega el ahorro de energía eléctrica tal y como mencionan en sus trabajos Wagiman[18] , Abdullah[19] , Gorgulu [20], Anthopoulou [12] que se destacan por su enfoque común sobre la iluminación exterior que consume una cantidad sustancial de energía eléctrica en los edificios, calles, parques y zonas urbanas.

Por tal motivo es necesario la implementación de nuevas tecnologías que ofrezcan reducir los consumos de energía, como es el caso de la iluminación led, la cual consume un 30% menos de energía que las luces convencionales, generando un ahorro a los usuarios reflejado en su factura del suministro eléctrico. Se mencionan también sistemas de control de luz inteligente aplicables para lo que es el AP y ornamental, dichos sistemas tienen muchos beneficios, que incluyen maximizar el confort visual de los ocupantes, minimizar la facturación de la energía eléctrica en las edificaciones y reducir las emisiones contaminantes. [21]

Previamente, basado en los diferentes estudios realizados, el presente proyecto propone la implementación de un sistema de iluminación del sistema de AP y ornamental del campus universitario. Dando un nuevo enfoque y apariencia a las instalaciones, resaltando la estética arquitectónica, evitando al máximo la contaminación lumínica y el desperdicio de energía eléctrica, aprovechando al máximo los recursos de iluminación y de construcción que se tiene en disposición.

Este proyecto al tratarse del sistema de iluminación de un campus universitario es fundamental lograr una correcta iluminación que cubra todos los espacios, resaltando especialmente las obras arquitectónicas ya que esto causara un mayor impacto hacia los usuarios, brindando especialmente una apariencia innovadora y elegante. El rol principal de la iluminación arquitectónica es asegurar el reconocimiento de las

superficies y de los objetos iluminados, formando simultáneamente una visión nocturna consistente y completa. [11]

De igual manera, parte esencial de un campus universitario son las áreas verdes, los espacios recreativos y los espacios deportivos que también deben ser correctamente iluminados en base a diferentes normativas que aseguran la calidad de un proyecto de iluminación, ya que, para poder ver las personas necesitan luz y esto lleva a la conclusión de que la iluminación puede estimarse en función de las condiciones de visualización que puede asegurarse.[22][23]

Para la correcta ejecución de cualquier proyecto eléctrico es importante tener en cuenta las normativas establecidas en cada país, ya que así se establece las políticas y reglas que regulan todo tipo de proyectos. Para este caso no se cuenta con una normativa vigente por parte de la distribuidora local (EEQSA) para el tema de alumbrado público – ornamental dentro de una institución.[24]

Por tal motivo para este diseño se recurre a el uso de la normativa internacional CIE 115 del comité internacional de iluminación. Estas recomendaciones estudian la influencia de la iluminación para evitar la delincuencia nocturna. Precisan los requisitos para la iluminación de las calles residenciales, los espacios públicos, las calles de las zonas industriales, los centros de actividad y los caminos y accesos reservados a los peatones y los carriles para bicicletas.[25]

Este proyecto cuenta con la siguiente estructura: en el primer capítulo se muestra una breve explicación teórica referente al tema, donde se señalan varias propiedades generales de los conceptos de un sistema de iluminación AP y ornamental, junto con un análisis crítico de las soluciones propuestas por distintos autores. En el segundo capítulo se presenta las diferentes características y detalles específicos de los elementos de un sistema de iluminación, al igual que los modelos matemáticos que se utilizaran para los cálculos requeridos en el diseño, de igual manera se detallara las normativas a implementar en este trabajo. El tercer capítulo por otro lado contempla los criterios técnicos para el proyecto a desarrollarse en el plano de trabajo. Se analizará el funcionamiento del sistema de iluminación a través del software digital

para poder visualizar los resultados de variables relevantes como son: iluminancia, flujo luminoso, intensidad lumínica, luminancia. Una vez ya ejecutado el proyecto sus resultados serán analizados para poder determinar un correcto servicio de AP y ornamental. Finalmente, el capítulo cuatro contendrá toda la información detallada ya obtenida del diseño para la elaboración de la memoria técnica.

Los parámetros mencionados se verifican mediante la utilización del software DIALux evo y DIALux 4, consideradas herramientas poderosas y muy usadas en el ámbito de proyectos de este tipo, dando paso a la realización de diferentes estudios lumínicos, incluyendo la elaboración de la simulación y poder comprobar como luciría en un escenario real. Adicionalmente este software tiene la peculiaridad de elaborar el sistema de iluminación por diseño desde cero o a su vez, mediante la importación de la información técnica para poder georreferenciarlos.

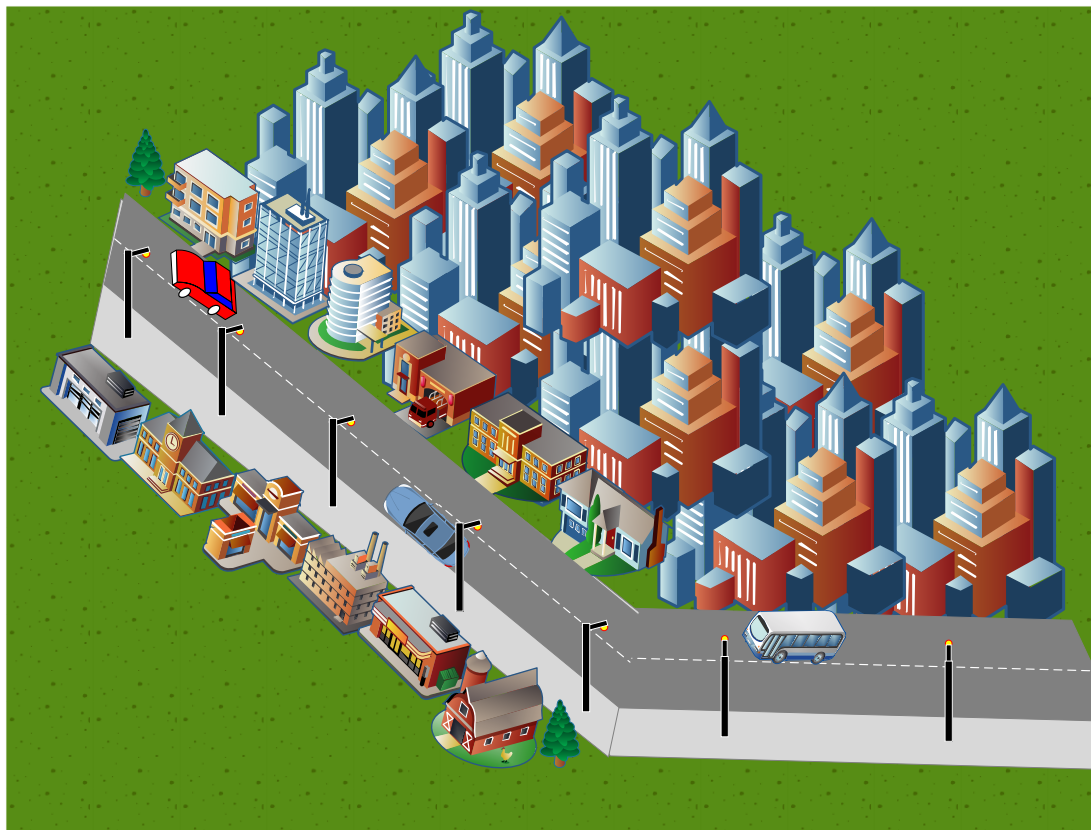


Figura 1 Alumbrado público

CAPÍTULO I TRABAJOS RELACIONADOS

Para este capítulo, se muestra a continuación los diferentes conceptos y singularidades del alumbrado público y ornamental. Se describe de manera general las tecnologías que forman parte de la iluminación en espacios urbanos. Se detalla cómo se encuentra la iluminación en el campus universitario, cómo funciona el control del mismo, la composición del sistema de iluminación, sus características de operación y funcionamiento.

1.1 ALUMBRADO PÚBLICO

Tras lograr el control absoluto del fuego en la antigüedad por parte de la raza humana, una de sus diferentes aplicaciones fue utilizarlo para la iluminación, dando como resultado la implementación del fuego para la iluminación por medio de las antorchas. Debido a que este procedimiento era molesto, además de poca duración y de escasa iluminación, se fueron desarrollando nuevas fuentes de iluminación combinando diferentes aceites y mechas con lo cual se obtenían mejores resultados en el procedimiento y en el tiempo de duración que permitían iluminar las calles y avenidas. [26]

Las primeras leyes a cerca del AP que se conocen, datan del siglo XVI donde la gente veía la necesidad de colocar una luz sobre la puerta de sus casas para alumbrar las vías, hasta que en el año 1558 se comenzó a implementar los faroles en las esquinas de las calles donde se requería que un farolero recorriese las calles a la puesta de sol para ir encendiéndolas.[6]

Gracias a la creación de electricidad, los humanos empiezan a innovar nuevos métodos para la iluminación de las calles y viviendas. La llegada de la electricidad tuvo un papel fundamental dentro de la iluminación ya que favoreció la creación de las primeras farolas alimentadas por electricidad y así en el año 1875 el ingeniero ruso Pavel Yablochkov crea la primera farola de arco de acero con electrodos hechos de carbón, los cuales empleaban la corriente alterna para poder emitir luz. [27]

Desde ese entonces, las tecnologías de iluminación se ha ido innovando, con la creación de las lámparas fluorescentes, seguido de la lámpara de vapor a base de mercurio consideradas de alta presión las cuales se las catalogadas como HID, mejor llamadas como DAI. Tras años de no tener el éxito que se esperaba debido al rápido deterioro de los materiales internos, sumado a la alta contaminación ambiental al desechar las luminarias. [22]

Actualmente la mayoría de sistemas de AP cuentan con lámparas elaboradas a base de vapor de sodio HID son las más utilizadas. Sin embargo, este tipo de luminarias tiene el inconveniente de tener una media eficacia, además de ser muy calientes. Por tal motivo se ha desarrollado una tecnología que va ganando terreno en los sistemas de iluminación de AP, por la cual se encuentra en proceso de cambio para utilizar las nuevas tecnologías de luminarias LED en los nuevos proyectos de AP.[28]

Por consiguiente, el AP en un servicio de uso público el cual tiene la función de brindar una iluminación adecuada de las calzadas públicas, carreteras, zonas recreativas, zonas urbanas y el resto de espacios de libre circulación, garantizando una visualización adecuada para que se desarrollen correctamente las diferentes actividades nocturnas. Generalmente el AP es un servicio municipal del cual la empresa distribuidora local está encargada de su instalación y mantenimiento.[29]

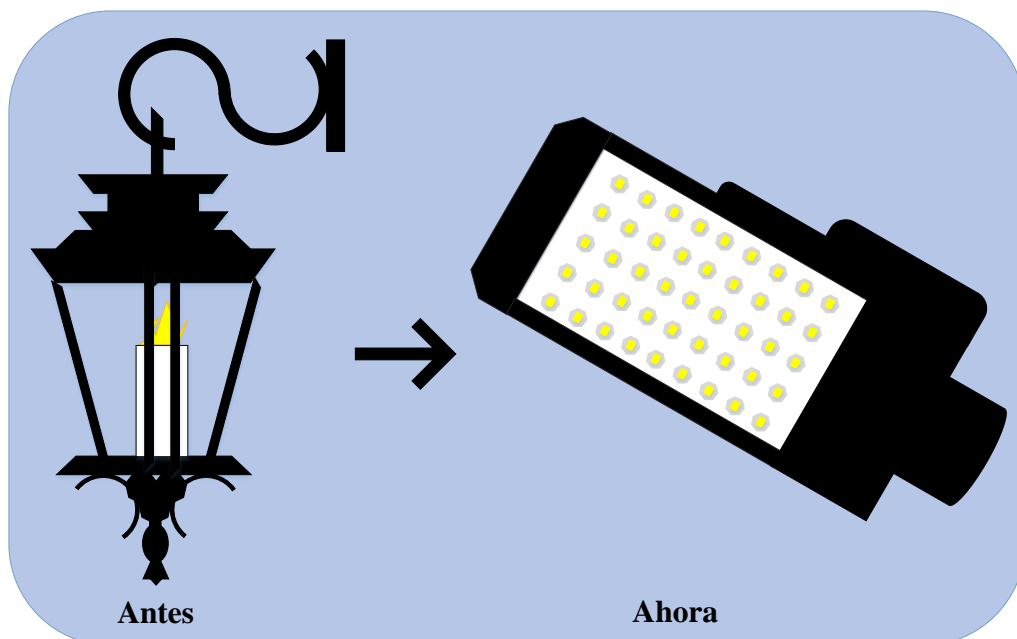


Figura 2 Evolución del alumbrado público

1.2 CLASIFICACIÓN DEL ALUMBRADO PÚBLICO

El AP corresponde al servicio de iluminación de las calzadas y diferentes espacios públicos, los cuales son destinados para la movilidad y algunos casos la ornamentación.[2] El alumbrado público para este proyecto está clasificado en:

Alumbrado público general -APG

“El APG tiene dentro de su estructura existen diferentes elementos como luminarias, redes eléctricas de tensión, transformadores, mástiles y diferentes equipos que controlan su funcionamiento. El APG ofrece un servicio bajo normas de calidad una iluminación para las vías y diferentes espacios públicos, garantizando la seguridad y comodidad del tránsito. El suministro de energía y facturación esta a cargo de las diferentes empresas distribuidoras locales de energía eléctrica, además comparten la responsabilidad de mantenimiento con el GAD y las diferentes entidades de espacio público y control de tránsito.”(ARCONEL 2018)[30]

Alumbrado público ornamental -APO

“El APO corresponde a la iluminación no reglamentada de espacios públicos, zonas recreativas, espacios deportivos, obras arquitectónicas. El APO a diferencia del APG, no tiene normativas que permitan su regulación e implementación, sino más bien, obedecen directamente las especificaciones y criterios de los organismos que los vayan a implementar.” (ARCONEL 2018)[30]

1.3 SISTEMAS DE ALUMBRADO PÚBLICO A NIVEL MUNDIAL

A medida que el mundo se va desarrollando aparecen nuevas tendencias en tecnología y el sistema de iluminación no se queda atrás, puesto que en los últimos años se ha generado una gran tendencia dentro de las principales ciudades con un gran desarrollo dentro de los países como son: China, Rusia, Estados Unidos, Alemania, Italia, Francia, Inglaterra, entre otros. Manifestando una aceptación y desarrollo hacia la implementación de las recientes tecnologías. [21]

En los Estados Unidos de Norteamérica se ha creado una comunidad llamada LED CityTM la cual está encargada de promocionar la utilización de luminarias LED en las diferentes ciudades del país. Este movimiento ha comprobado que el uso de tecnología

LED tiene un cuatrocientos por ciento de eficiencia mayor, en comparación con las lámparas tradicionales hechas a base de vapor de sodio. [21]

Por parte del continente asiático se suma Corea del Norte como parte de la comunidad internacional LED City™ ha reportado una reducción notable del consumo de energía treinta por ciento en comparación con las anteriores tecnologías de iluminación, las cuales fueron sustituidas. La migración hacia la tecnología LED ha generado un ahorro de 253 KW/h a la ciudad, lo cual ha disminuido las emisiones de CO₂ dedicado a la generación en 8.465 kg anualmente. [21]

El LED de alta potencia utilizado para AP ofrece una serie de ventajas importantes:

- Alta emisión de flujo luminoso: La tecnología LED dedicadas al AP otorgan ocho veces mayor luminosidad que las lámparas incandescentes.
- Alto índice de ahorro energético: La iluminación LED destinada al AP cuentan con un gran índice de eficiencia y generan alrededor de un ochenta por ciento de ahorro en comparación con las luminarias tradicionales de sodio o mercurio.
- Disipación de calor de las fuentes emisoras de luz, lo cual mejora su eficiencia evitando la disipación de energía por medio de calor.
- Arranque instantáneo: a diferencia de las luces de sodio, las lámparas LED no necesitan un tiempo de funcionamiento para poder alcanzar sus niveles máximos de brillo. [32]

Varios estudios han concluido en la que tecnología de iluminación LED tiene una gran aceptación, tanto para interior como para exterior, debido a que ha sido expuesto a diferentes pruebas luminotécnicas y al contrastarlas con las características de las luminarias de otras tecnologías (HID) se ha demostrado que se obtiene un mayor confort visual en lo que se refiere la percepción visual.[21] [33]

1.4 FENOMENOLOGÍA ARQUITECTÓNICA

Todo el tiempo se ha representado a la arquitectura en base de los sentidos, pero en especial la vista que ha sido bastante predominante en la civilización occidental. Por tal motivo se afirma en la cultura occidental que el sentido de la vista es un privilegio con respecto al resto de los sentidos. Por otro lado la fenomenología plantea el estudio y la representación de los fenómenos tal y como se presentan en la realidad y se

evidencian a través de los sentidos, partiendo desde una perspectiva en primera persona, basadas en las percepciones, las emociones, la conciencia y las experiencias.[34]

A partir de la fenomenología surge la idea de que es posible el percibir las estructuras fundamentales de un asunto y sus relaciones esenciales partiendo del estudio detallado de varios ejemplos específicos procedentes de la experiencia o también de la imaginación. Así también la arquitectura tiene la característica de lograr resaltar las esencias, por lo cual relaciona la forma, el espacio y la luz. Adicionalmente eleva la experiencia del día a día cotidiano por medio de los distintos fenómenos que emergen de los diferentes entornos, y edificaciones concretas.[34][35]

Percepción visual

Es el fenómeno del cual se basa en el estudio de la información que se recopila desde los órganos sensoriales en los seres humanos. En los últimos años de estudio referente a como las personas reaccionan a los sistemas de iluminación se ha notado un incremento notablemente, esto debido principalmente a que el observador tiende a generar estímulos (sensaciones), los cuales generan diferentes efectos tales como la originación del confort visual, variaciones en el desempeño laboral, variación en el estado de ánimo, en pocas palabras se crea un sinfín de cambios psicológicos modificados gracias a la percepción visual que es generada gracias a la iluminación. [36]

Por tal motivo se han elaborado varias investigaciones con el fin de mejorar la iluminación, y brindar algunas recomendaciones para los diseños de iluminación. Con el objetivo de elevar el estado emocional y la productividad de los observadores o perceptores. Los diferentes estudios muestran una peculiaridad, la cual menciona que la percepción de confort visual es más alta, sin importar que la iluminación sea menor a lo sugerido. Por ende los factores que más afectan a la calidad del entorno son las técnicas de iluminación y la contribución a la iluminación natural.[37]

Sistema visual

Este sistema esta a cargo de la transformación de las ondas electromagnéticas pertenecientes al espectro visible que son captadas por los ojos en señales nerviosas

que puedan ser interpretadas por el cerebro. Neurofisiológicamente hablando el sistema visual está conformado por dos subsistemas principales, Los cuales tiene diferentes respuestas frente a un mismo mismos entornos luminosos. En este proceso ambos juegan un rol fundamental ya que uno de los subsistemas es el que se ocupa básicamente de la detección de objetos, la búsqueda visual, los movimientos oculares y aparentes, a la vez que el otro se encarga de percibir el color, el brillo y la forma.[38]

La percepción del color tiene su inicio en la luz que ingresa a través de los ojos, esta a su vez puede ser medida en diferentes longitudes de onda, por lo tanto, para que el cerebro pueda captar e interpretar un color dependerá directamente de la longitud de onda de la luz. Del mismo modo, los colores son simplemente sensaciones que fueron creados en nuestra mente. A sí mismo, se debe considerar el factor del ojo para otras longitudes de onda diferentes, las cuales están definidas por las curvas de sensibilidad del ojo para visión fotópica llamada curva $v-\lambda$ [38][39]

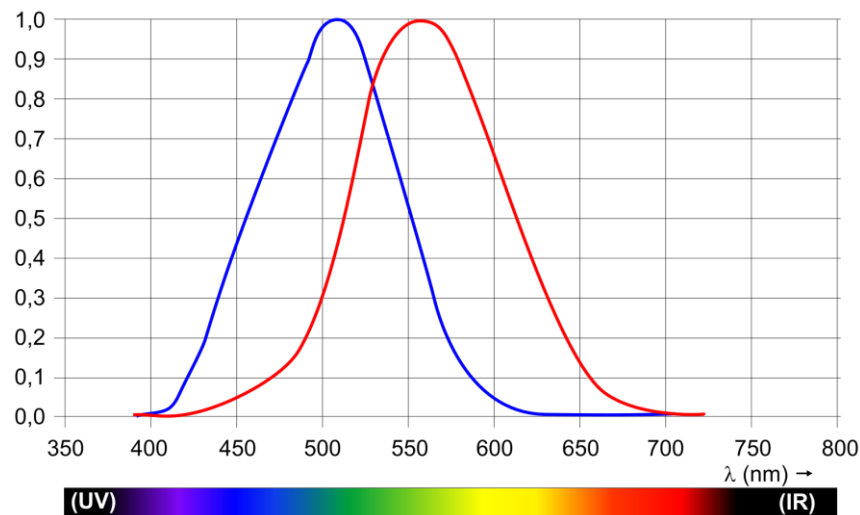


Figura 3 Curva de visión fotópica, fuente "Luz y emociones de Vincent Laganier"

Visión

El proceso de la visión tiene su lugar de origen en la retina, en donde toda la información captada por el ojo humano es segregada por dos canales principales, uno específicamente dedicado a los movimientos propios del ojo, mientras que el otro está dedicado específicamente a la inspección y la interpretación del color. En consecuencia, esta información para poder llegar a corteza visual y ser procesada debe pasar a través del tálamo. [39][40]

Para la captación de la luz por parte del ojo humano tiene que atravesar alrededor de diez capas que posee la retina, posteriormente debe llegar hasta donde se encuentran ubicadas las células especializadas en la recepción de los estímulos visuales, denominados como los bastones y conos. Los cuales transforman estas señales en impulsos nerviosos para que lleguen al cerebro a través del nervio óptico en donde serán procesados y reconstruidos en formas, imágenes, movimientos, y colores. Los conos están directamente relacionados con la visión diurna, la visión en colores, mientras que los bastones están relacionados con la visión nocturna.[40][37]

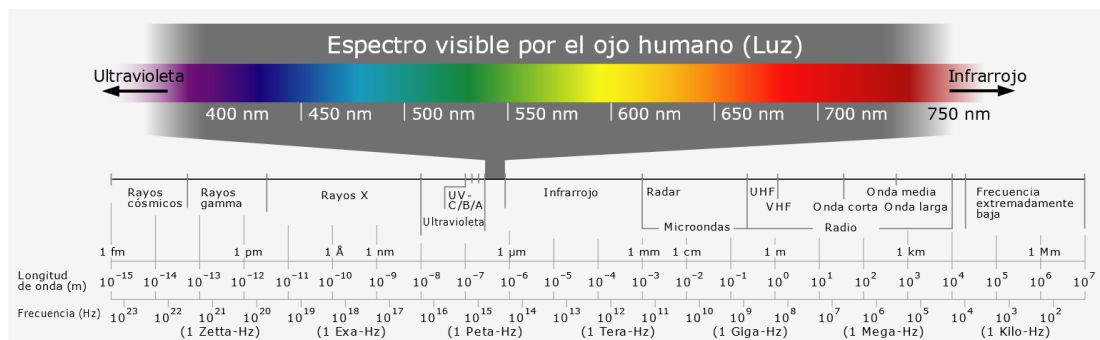


Figura 4 Espectro electromagnético, fuente "Luz y emociones de Vincent Laganier"

1.5 ILUMINACIÓN

Es muy conocido que los hombres y mujeres tiene una capacidad increíble para poder adaptarse a cualquier escenario. En consecuencia, la luz es de vital importancia dado que es un factor propio de la capacidad humana al momento de entender el entorno. Además la mayoría de la información que se recopila es gracias a nuestra vista, por ende, en un ambiente la iluminación juega un rol importante en la misma captación del entorno y de cómo es la relación con el mismo, ya que es capaz de cambiar la manera de ver un espacio e interpretarlo.[41]

La iluminación de los ambientes es uno de los elementos que ha llamado más la atención en los últimos años, considerándolo en el ámbito de la arquitectura. Por tal motivo es importante conocer la luz natural para poder combinarla con la iluminación artificial proveniente de las nuevas tecnologías de luz eléctrica, con lo cual se nota la diferencia entre disfrutar de un escenario cálido y uno tremendamente fría. [42][43]

Iluminación de fachadas

Este tipo de iluminación es uno de los factores de mas importancia a ser tomados en consideración para realizar el diseño de cualquier tipo de negocio, sin tomar en cuenta cual sea su actividad a la que se dedique o a la rama comercial que pertenezca. La fachada es considerada la parte más crítica dentro de cualquier diseño arquitectónico, ya que teniendo en cuenta que se trata de la parte que percibe el público antes de entrar al interior de cualquier establecimiento y en casos muy específicos, representa una alternativa para la comunicación y en ocasiones comercialización de forma previa.[43]

El concepto lumínico dentro de un proyecto se lo debe ver como la transmisión de las diferentes emociones sobre algo en conjunto dependiendo en donde se encuentre ubicado, para esto, es necesario la planificación previa de la iluminación que va estar encaminada a la percepción de un elemento y a su vez a la trasmisión de las sensaciones y emociones que genere el mismo. Tomando en consideración el aspecto monetario que representa una correcta iluminación y en una medida necesaria, dicho de otra forma es iluminar lo necesario.[44]

Iluminación de zonas verdes

Para este tipo de escenarios no es necesario lograr el nivel de luz natural con iluminación artificial, sin embargo, se toma en consideración el simple hecho de que el ojo humano tiene una percepción diferente la expresión de los colores por consecuencia de los diferentes tonalidades e intensidades de la iluminación artificial.

Es importante tomar en consideración los efectos secundarios que la luz artificial ejerce sobre las plantas, ya que no son conocidos por los diseñadores y generalmente no son tomados en cuenta, esto se debe a que en su gran mayoría las plantas sufren de sensibilidad ante la presencia de la banda roja de emisión del espectro de las lámparas alterando sus aspectos fisiológicos. [42][45]

La iluminación nocturna capta la atención de los usuarios y a su vez dirigir su vista hacia los objetos enfocados, por tal motivo los diseños de jardines son realizados enfocados en la percepción de los espacios recreativos a la hora del día, pero, dado el horario normal de utilización de los parques, hace que se vuelva necesario el proyectar jardineras aptas para que se las pueda contemplar bajo una luz generada por un sistema de iluminación artificial.[45]

Tipos de iluminación

Para ofrecer un realce llamativo en las fachadas arquitectónica y las áreas verdes es necesario el uso de los distintos tipos de iluminación que existen, como son:

Iluminación básica

Es aquella que contiene una distribución luminosa extensiva la cual hace que sea posible la apreciación y precesión en el plano horizontal, este tipo de iluminación se caracteriza por suministrar una iluminación general, haciendo que la uniformidad en el plano de trabajo se aumente al incrementar la altura del montaje del punto de luz o tener un ángulo de irradiación más ancho.[46][47]

Iluminación de bañado

Es conocido por iluminar las fachadas grandes o zonas con un gran espacio, en comparación con el resto del plano de trabajo, con lo cual se genera una sensación de amplitud. El bañado posibilita transitar con seguridad por caminos o escenificar objetos grandes y zonas, con una luz dirigida que genera un modelado completo lo cual posibilita una correcta percepción de las diversas formas y estructuras sobre la superficie.[46][47]

Iluminación de acentuación

La acentuación resalta los objetos o figuras arquitectónicas y a la vegetación, a través de conos de luz. Es conocido que los puntos de mayor claridad claros dentro de un entorno sin luz llaman la atención, separando lo importante de lo complejo y situando a los elementos principalmente en el primer plano, teniendo como resultando una correcta visibilidad de las figuras y fachadas en las superficies. La luz correctamente enfocada forma unas sombras enfocadas, lo que genera una brillantez confortable al observador. [46][47]

Iluminación de orientación.

Este tipo de iluminación ayuda a la enfatización mediante la elaboración de líneas y puntos de luz, usadas generalmente, en trayectos y escaleras, debido a que su iluminación es esencial, ya que actúa como indicadores. La iluminación del entorno pasa a ser de segundo plano, para la orientación es necesario pocas luminarias de baja

intensidad, básicamente se utilizan luminarias pequeñas con una luminancia elevada dando como resultado el destacar el entorno claramente.[46][47]

Contaminación lumínica

Si bien en cierto la iluminación en fachadas, calles, zonas verdes, patrimonios y zonas urbanas es importante para el correcto desarrollo de las actividades nocturnas de las personas, así como a su vez, proporcionar seguridad y además de eso ofrecer un nivel de estética ante la vista de los usuarios, pero a la vez entra en juego un tema muy desapercibido por la mayoría de la gente, que es la contaminación lumínica.[48][49]

Este fenómeno mencionado de la contaminación lumínica, la cual es generada por el exceso de luz provenientes de fuentes artificiales mal dirigidas hacia su objetivo, dando como resultado el resplandor que se refleja en el cielo durante las horas nocturnas, lo cual es provocado por la mala iluminación. En vez de dirigir la luz hacia el suelo o hacia su objetivo, la luz se dirige hacia el cielo, provocando primeramente un desperdicio de energía por el sobredimensionamiento del elemento emisor de luz.[48]

La iluminación mal diseñada está quitando la oscuridad de la noche y aumenta notablemente el nivel de iluminancia, provocando varias consecuencias como la eliminación de la luz emitida por las estrellas en el cielo nocturno, la interferencia con la investigación astronómica, alteración los ecosistemas y tiene efectos adversos para la salud humana debido a la captación de la luz artificial en las horas nocturnas, lo cual afecta a los relojes biológicos, además de la vida silvestre debido a que se genera problemas en su orientación y causa una alteración de conductas. [48][50]

La mayoría de las veces es el resultado de una iluminación exterior mal planificada y diseñada, así como la iluminación artística y arquitectónica lo puede considerarse una fuente importante de contaminación lumínica, debido a que muchos de los objetos arquitectónicos están por una parte iluminados en exceso y otros no están iluminados en absoluto. La idea de la iluminación arquitectónica es revelar y resaltar objetos arquitectónicos notablemente, así como edificios históricos y públicos. [49][50]

Es por eso por lo que el diseño y realización de una buena iluminación arquitectónica es una tarea complicada, ya que cualquier error en el diseño puede provocar una dispersión de la luz que penetre en los locales de vivienda y trabajo y atente contra el confort lumínico de sus ocupantes. Sumado a eso, la dispersión de la luz conlleva un aumento considerable de energía eléctrica. La generación de esta energía eléctrica está relacionada directamente con el aumento de gases de efecto invernadero nocivos y con un gasto importante de dinero.[49][51]



Figura 5 Contaminación lumínica fuente La República EC

CAPÍTULO II PARÁMETROS DE DISEÑO

Para todo diseño eléctrico es importante tener en cuenta ciertos conceptos técnicos que van de la mano con la normativa que se vaya a usar, puesto que esto garantiza el correcto funcionamiento brindando seguridad al momento de la implementación.

2.1 CONCEPTOS LUMINOTÉCNICOS

Flujo Luminoso

“Es la cantidad de flujo energético en las longitudes de onda que emite una fuente para que pueda ser detectado por el ojo humano, es decir, que cuantifica la medida de luz que es proveniente de la fuente por segundo.” (ARCONEL 2018)[30]

Símbolo: Φ_m

Unidad de medida: Lúmenes (*lm*)

Intensidad Luminosa

“Se puede definir a la intensidad luminosa proveniente por una fuente de luz en un sentido propio por la unidad de ángulo sólido como la medida de potencia evaluada a través de la longitud de onda.” (ARCONEL 2018)[30]

Símbolo: I_m

Unidad de medida: Candelas (*cd*)

Iluminancia

“Se puede definir a la iluminancia o nivel de iluminación como la cantidad de luz, o de flujo luminoso, el cual repercute sobre una superficie en un área determinada. Puede ser iluminancia: vertical, horizontal y semicilíndrica.” (ARCONEL 2018)[30]

Símbolo: E_m

Unidad de medida: Luxes (*lux*)

Luminancia

“Se puede definir a la luminancia como la cantidad de flujo luminoso procedente de un área iluminada que el ojo humano percibe desde un punto de vista en particular.” (ARCONEL 2018)[30]

Símbolo: L_m

Unidad de medida: Candela por metro cuadrado (cd/m^2)

Uniformidad

“Es la iluminación proyectada sobre una superficie determinada que generalmente se requiere en los parámetros de iluminación, pero entre más uniforme sea iluminancia se podrá obtener un mayor confort visual” (ARCONEL 2018)[30]

Deslumbramiento

Es un fenómeno que implica directamente a la visión, lo cual causa una disminución en la capacidad de diferenciar objetos y una sensación de molestia, causada principalmente a la existencia de una mala ubicación de luminarias, o también como el resultado de los contrastes excesivos en el espacio y en el tiempo. Este fenómeno tiene sus efectos directamente en la retina del ojo en la cual se produce una reacción molesta, causando una insensibilización durante un tiempo, lo cual al transcurrirse se vuelve a recuperar. (ARCONEL 2018)[30]

Se lo puede calcular mediante la siguiente ecuación:

$$TI = \frac{K * E_e}{(L_m)^{0.8} * \theta^2} \quad (1)$$

En donde:

K: Es una constante referente al observador, su valor es 630^3 .

E_e : Iluminancia de las luminarias.

L_m : Corresponde al promedio de la luminancia

θ : Ángulo correspondiente a la luminaria

Fotometría

La fotometría son curvas que representan gráficamente el comportamiento de la luz, mostrando características del tipo de fuente al igual que su naturaleza. Son curvas polares que describen la dirección y la intensidad de la luz, la cual, se distribuye desde la fuente de iluminación. Por lo general se emplean las curvas fotométricas que vienen dadas en dos planos verticales; uno de ellos está enfocado sobre el eje longitudinal de propio de la luminaria (0° - 180°), mientras que el otro se encuentra situado de modo transversal a la luminaria (90° - 270°). [12]

Isolíneas

Las isolíneas también conocidas como curvas isolux es la obtención de características a partir de la fuente luminosa, las cuales otorgan detalles sobre la magnitud y forma de emisión luminosa de la misma. Dichas líneas aportan información de la cantidad de luz que recibe cada uno de los puntos sobre el plano de trabajo. Es común expresar las isolíneas en valores absolutos, que generalmente se define para una lámpara de mil lúmenes, montada a un metro de altura. [16]

Color

Es la percepción generada específicamente por el tinte de luz captada por los órganos visuales o, dicho de otra manera, es una reacción visual que tiene su origen dentro del cerebro de los seres vivos, al momento de interpretar dentro de la retina del ojo las diferentes señales nerviosas las cuales son enviadas a través de los fotorreceptores, lo cual a su vez hace posible distinguir e interpretar la gran variedad de longitudes de onda que son captadas de la parte visible del espectro electromagnético. También se la define como el color que percibe un observador de la luz, medida en grados Kelvin.[9][43]

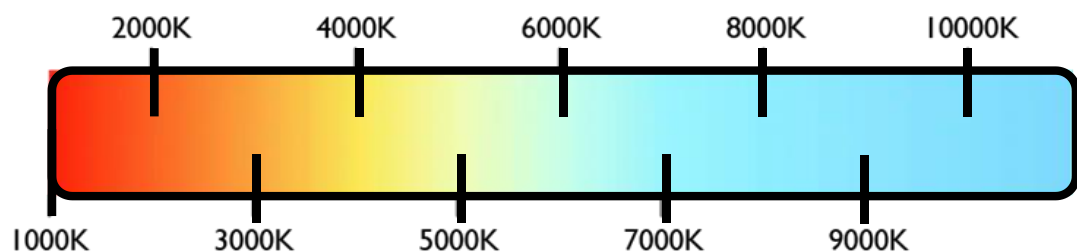


Figura 6 Rango de temperatura de color

2.2 NORMATIVA

Para una correcta iluminación de fachadas arquitectónicas, vías públicas, parques y monumentos, entra en juego varios factores, entre ellos, el coeficiente de reflexión de

la fachada, el área del inmueble, la iluminación de las áreas circulares del inmueble, características técnicas de las luminarias a usar y el coeficiente de utilización. No obstante, es indispensable el uso de una normativa en el cual se pueda garantizar la correcta realización de un proyecto, preferentemente cumplir las normas establecidas por parte de la distribuidora local. [25]

Para regular la luz mínima necesaria dentro de los proyectos existe la normativa a nivel internacional y a nivel nacional, donde se analiza cómo iluminar correctamente en función del uso del espacio de trabajo. No obstante, dichas normativas casi nunca podrán garantizar que el usuario tenga una percepción agradable del entorno iluminado.

Para el caso de Ecuador cada distribuidora local tiene diferentes normativas muy semejantes entre sí, respecto al alumbrado público, Generalmente todas las normativas de iluminación pública son derivadas de las normas CIE por lo cual se ha optado por seguir la normativa internacional europea para la parte ornamental junto a las áreas verdes y la normativa CIE-115 enfocadas en el alumbrado público de áreas urbanas.

2.2.1 CIE-115

Es la autoridad internacional en luz, iluminación, color y espacios de color. Actualmente las normativas vigentes en el Ecuador reguladas por el ARC son basadas en las normas CIE en el ámbito de proyectos de iluminación.[3]

Al tratarse de un proyecto técnico de iluminación exterior se basará en la normativa CIE-115 la cual brinda recomendaciones que estudian la influencia de la iluminación en la delincuencia Nocturna. Enfatizando los requisitos mínimos para la iluminación de los espacios públicos, las calles pertenecientes a las zonas industriales, las calles de áreas residenciales, los centros de actividades nocturnas y los diferentes caminos y accesos exclusivos a los peatones, así como los carriles para bicicletas.[25]

Sumado a los niveles de iluminancia y de luminancia, se toma consideración otros factores como el modelado facial de las personas, el aspecto del entorno, los efectos del deslumbramiento y su control, la selección de las fuentes de luz adecuadas en función del rendimiento en color y de la calidad del ambiente coloreado, la influencia

del alumbrado sobre el ambiente, la estética de las luminarias y de las instalaciones de alumbrado.[3][25]

El concepto de luminancia es el enfoque que generalmente se utiliza para los criterios de calidad para la iluminación de las vías en zonas urbanas, en algunos países todavía se sigue utilizando el método de la luminancia, lo cual cumple el objetivo de proporcionar una superficie de carretera brillante en la cual se pueda visualizar los objetos en la silueta, pero se ha demostrado en base a la experiencia que es un criterio insatisfactorio ya que muchos objetos dentro de la carretera son de alta reflectancia y no se logran visualizar en la silueta sino por luz reflejada directamente.[3]

No obstante, el objetivo de uniformidad y luminancia que cuenta con un control apropiado del deslumbramiento ha logrado ser acogido en recomendaciones nacionales e internacionales durante varias décadas, proporcionando una base satisfactoria en el diseño de la iluminación vial. Sin embargo, los valores de los criterios establecidos originalmente en base a un resultado de trabajo experimental, se los ha cambiado en base a la experiencia durante el transcurso del tiempo, dando como resultado al enfoque que sugiere esta normativa, lo que representa una buena práctica actual.[3]

La iluminación vial tiene el objetivo de proporcionar las señales visuales y revelar los obstáculos, de tal manera que posibilite una segura circulación vial. Es conocido los faros de los automóviles y otros dispositivos de seguridad como letreros, marcas en la superficie de la carretera y delineadores, contribuyen a guiar al conductor, existe la necesidad de revelar los objetos que aparecen de manera remota en la carretera, dando como resultado una mejor reacción del conductor ante estos sucesos imprevistos. [3]

En el ámbito de seguridad vial la distancia para que un vehículo logre detenerse de manera segura puede exceder la distancia a la que los faros del auto puedan revelar adecuadamente el objeto, en base a los tiempos de reconocimiento, factores como la velocidad del vehículo, reacción y frenado, si contar que la superficie este mojada o seca. Por tal motivo la iluminación de la carretera tiene que ser de buena calidad, proporcionando una perfecta visibilidad, de tal modo que se pueda tomar una acción evasiva a tiempo, reduciendo la probabilidad de cualquier siniestro.[3]

Paseos peatonales, aceras y caminos

En la actualidad para las zonas urbanas, se debe realizar un diseño específicamente enfocado a los caminos que permitan la circulación peatonal, los cuales corresponden a la ruta desde los parqueaderos de vehículos hacia las áreas recreativas, de compras y áreas verdes, como a su vez, vías de acceso pública que unen zonas residenciales con las zonas comunitarias de reunión, así mismo como los caminos que atraviesan los parques. Para lo cual se basa en las recomendaciones de la tabla 1 de anexos. [25][3]

Cruce de carretera peatonales

En los cruces de carretera se debe cumplir los objetivos de lograr el paso seguro de los peatones a través de la carretera y a su vez permitir visualizar cualquier obstáculo y la presencia de alguna irregularidad sobre de la carretera. Para lo cual se basa en las recomendaciones de la tabla 2 de anexos.[25] [3]

Escaleras peatonales y rampas

Las escaleras y rampas están consideradas dentro de los caminos peatonales, por tal razón, se debe tener consideración en asegurarse de que estos cambios de desnivel tengan la suficiente visibilidad para que el peatón las pueda usar. Para lo cual se basa en las recomendaciones de la tabla 3 de anexos.[25][3]

Carriles y vías para bicicletas

Al referirse a los carriles que usan los ciclistas se debe considerar varios aspectos de la visibilidad del ciclista para lograr identificar el límite entre el borde y el carril, las curvas pronunciadas, obstáculos en la superficie tales como agujeros, piedras, palos en el suelo y los cruces de vías con otro tipo de tráfico. Para lo cual se basa en las recomendaciones de la tabla 4 de anexos. [25][3]

Niveles de iluminación para áreas urbanas

La categoría de iluminación M está enfocada a los conductores de vehículos motorizados en las rutas de tráfico, sin embargo, en algunos países es utilizada para tráfico mixto en carreteras residenciales, lo cual permite velocidades de conducción baja y media. Esta categoría M1 a M6 tiene fijados sus criterios de iluminación en la tabla 5 de anexos. La aplicación de esta categoría dependerá de la geometría del área relevante, las circunstancias dependientes del tiempo y del tráfico. Para una adecuada

iluminación se debe considerar la velocidad vehicular, la composición del tráfico, el diseño general y las condiciones ambientales.

Para el correcto cálculo de la iluminación de categoría M se deberá seleccionar y agregar los valores de ponderación adecuados para los diferentes parámetros y el número de iluminación de la categoría M se lo calcula como:

$$M = 6 - V_{ws} \quad (2)$$

Donde:

M: Número de categoría de iluminación

V_{ws} : Suma de valores ponderados.

La selección meticulosa de los datos ponderados apropiados en la Tabla 6 de los anexos producirá números de clase entre 1 y 6., si el resultado no es un número entero, se procederá a usar el siguiente número entero más bajo. [3]

2.2.2 ITC-EA

La Instrucción Técnica Complementaria mejor conocida por sus siglas ITC es una de las instrucciones avalado por el (REBT). Estas normativas tienen como objetivo garantizar el correcto funcionamiento de dichas instalaciones brindando seguridad a las personas y los bienes, además de evitar las fallas en otras instalaciones y servicios, finalmente que contribuya a la confiabilidad técnica y al aspecto económico de las instalaciones.[52]

Estas normativas serán empleadas para el diseño del alumbrado ornamental del campus universitario. Dentro del ámbito del alumbrado ornamental se tiene en consideración a la iluminación de fachadas arquitectónicas y de monumentos, así como estatuas, murallas, piletas y equipamientos acuáticos. Este tipo de iluminación ornamental enfocado a monumentos se logra destacar su índole, edad y si es posible su significado histórico. Por otro lado, la iluminación ornamental exige tener en cuenta el área del edificio o monumento, junto con su significado y alrededores. [52]

Para este tipo de iluminación se debe tomar en consideración que los contrastes generalmente serán más importantes que su homogeneidad y que, por ende, los

espacios oscuros resultarán tan impactantes como con la propia luz. Los valores de referencia como recomendaciones de la iluminación para las diferentes áreas predispuestas a ser decoradas con iluminación ornamental se establecen en la tabla 7 de anexos.[52]

Para la ejecución correcta del alumbrado ornamental se exige una supervisión rígida del flujo luminoso que se disipe fuera de la superficie iluminada conocida como la contaminación lumínica. El factor de reflexión de los materiales debe ser considerado para poder determinar el nivel de luminancia sobre la fachada del edificio al cual se iluminará, así como la forma de la fachada. Los factores de reflexión de los diferentes materiales se los presenta en la tabla 8 del anexo.[52]

Adicionalmente existen lugares que no requieran de mucha iluminación, tal como es el caso de las áreas verdes, pero donde es importante que exista un nivel mínimo de iluminación debido al ámbito de vigilancia y de seguridad en las noches, garantizando la visualización de objetos y personas en las áreas vulnerables. Para este punto se ofrecen las siguientes recomendaciones.[52]

Áreas de riesgo	Nivel sugerido (lux)
Normal	10
Elevado	20
Alto	50

Tabla 1 Niveles de iluminación para vigilancia nocturna

2.2.3 THE LIGHTING HANDBOOK y UNE

El manual de iluminación “The Lighting Handbook” es considerado como la normativa madre de iluminación en Europa, de la cual se derivan a las diferentes normativas que utilizan las empresas distribuidoras de los diferentes países europeos. En estas recomendaciones se toma en consideración el confort visual, garantizando una iluminación apropiada para el ambiente que se requiere iluminar, tanto en exteriores como en interiores. Para el caso del campus se empleará estas normas para la iluminación de parqueaderos, basándose en la tabla 9 del anexo. [53]

Adicionalmente para la correcta iluminación de las áreas deportivas se empleará las normativas europeas UNE las cuales son un conjunto de recomendaciones, normas

experimentales e informes elaborados en los (CTN) los cuales son avalados por la Unión Europea.[54]

La norma UNE 12.193 corresponde a los niveles de iluminación para las instalaciones deportivas de diferente uso, en la cual se ha clasificado el alumbrado en diferentes categorías basadas su nivel:

- Categoría I: Correspondiente a eventos nacionales e internacionales.
- Categoría II: Correspondiente a partidos de competición regional y local.
- Categoría III: Entrenamiento general, espacios educativos.

La tabla 10 del anexo muestra, los valores sugeridos de iluminación y de uniformidad para cada deporte. [54]

2.2.4 Empresa Eléctrica Quito SA

Como se lo ha dicho reiteradas veces, las grandes normativas internacionales son de las que se derivan las normas de las distribuidoras locales, por tal motivo para contrastar lo mencionado en las normas internacionales con las normas de la distribuidora local, se utilizara la normativa de la Empresa Eléctrica Quito.

Por tal motivo, el diseño debe comprender los niveles de iluminación y de los factores de uniformidad, así como la selección de las luminarias, la adopción de los esquemas de control y la localización y disposición de los elementos para su montaje. Para el diseño de alumbrado de vías y espacios públicos se han considerado valores en función del tráfico vehicular y peatonal, que a su vez son vinculados con las características y dimensiones de las calzadas y aceras. Para el área correspondiente a la ciudad de Quito, se ha reglamentado las especificaciones establecidas en la tabla 11A y 11B del anexo. [55]

Con la selección previa del área vial a iluminar, en la tabla 12 de anexo se presentan los valores recomendados para luminancia media de la calzada, el incremento de umbral, la uniformidad general de la calzada, la uniformidad longitudinal sobre la calzada, la potencia de la luminaria de vapor de sodio y la relación de entorno. [55]

2.3 METODOLOGÍA

El cálculo correcto de alumbrado público es una tarea compleja, ya que tiene una variedad de componentes que intervienen dentro de la iluminación de carreteras, tales como el deslumbramiento, las características del asfalto, condiciones climáticas, entre otras. Anteriormente los cálculos eran realizados a mano, con el objetivo de determinar las condiciones de iluminancia sobre la calzada, garantizando una correcta visibilidad que cumpla con los parámetros recomendados por los entes regulatorios. [1][39]

A través del paso de los años, la tecnología de la informática se ha ido desarrollando constantemente, mejorando su capacidad para el procesamiento de datos, lo cual ha beneficiado al desarrollo de programas para el diseño de alumbrado público. Los ordenadores facilitan el cálculo de la determinación de la luminancia sobre la calzada optimizando el tiempo de respuesta y con resultados más exactos. Sin embargo, es necesario lograr entender la mecánica detrás de los cálculos que realizan los diferentes softwares, como son el método del factor de utilización y el método europeo de los nueve puntos. [56]

2.3.1 Método de los lúmenes o el factor de utilización

Este método tiene el objetivo de lograr encontrar la distancia óptima de separación entre las luminarias, garantizando así, el nivel de luminancia medio que se requiera. Esto se lo consigue a través de un proceso iterativo, en el cual se obtienen los valores con un margen de error muy pequeño, los cuales sirven de referencia para poder ser empleados en otros métodos.[39] El proceso responde al siguiente diagrama de flujo.

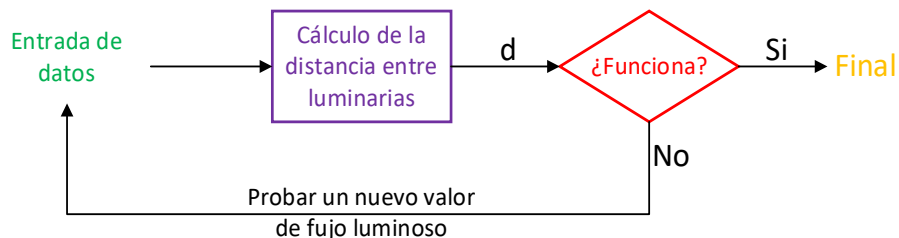


Figura 7 Diagrama de flujo del método de los lúmenes

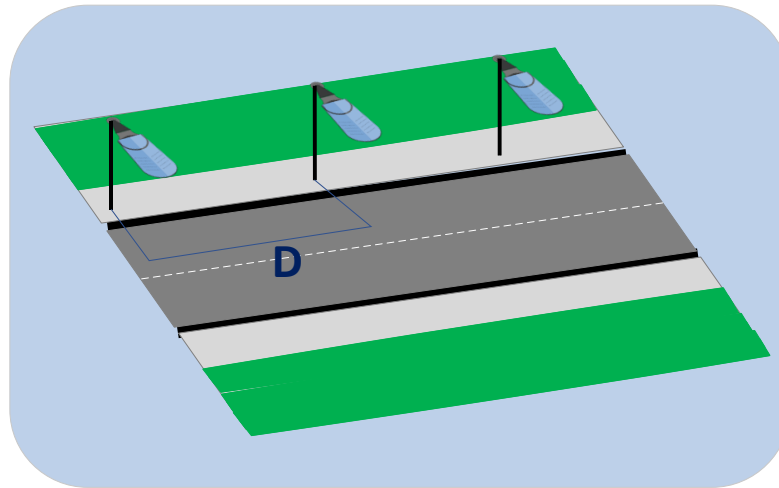


Figura 8 Método del factor de utilización

Dentro de los datos de entrada como primer punto se tiene la determinación de la luminancia media (L_m), el cual dependerá de ciertas características como son la clase de vía, intensidad del tráfico y clase de pavimento, generalmente este valor se lo obtiene de las tablas de las recomendaciones que dictan las normativas que se vayan a emplear. Acto seguido se selecciona el tipo de lámpara a implementar y la altura de montaje, tomando en consideración que no debe de excederse del flujo máximo de las recomendaciones para cada intervalo. [39]

Flujo de la lámpara (lm)	Altura (m)
$2999 \leq \Phi_L < 9999$	$5.99 \leq h < 7.99$
$9999 \leq \Phi_L < 19999$	$7.99 \leq h < 9.99$
$19999 \leq \Phi_L < 40000$	$9.99 \leq h < 12$
$\Phi_L \geq 40001$	$h \geq 12$

Tabla 2 Factor de altura

A continuación, se deberá escoger la disposición más adecuada de las luminarias en base a la relación de amplitud de la calzada y de la altura de las luminarias.

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

Tabla 3 Disposición de luminarias

Posteriormente se debe evaluar el factor de mantenimiento (f_m) el cual dependerá de las características del sector en donde se vaya a trabajar como son, la contaminación, mantenimiento y tráfico. Generalmente este factor es muy difícil de determinar, por lo cual se sugiere elegir un valor que no supere a 0.8.

Características de la vía	Luminaria abierta	Luminaria cerrada
Limpia	0.74	0.81
Media	0.67	0.71
Sucia	0.64	0.69

Tabla 4 Factor de mantenimiento

Una vez determinados todos los factores se procede con los cálculos, como es el factor de utilización, la cual es una medida que evalúa el rendimiento de la luminaria definida como el coeficiente entre el flujo útil que está llegando a la calzada y el flujo emitido por la lámpara.

$$\eta = \frac{\phi_{\text{útil}}}{\phi_L} \quad (3)$$

Donde:

η : Es el factor de utilización

$\phi_{\text{útil}}$: flujo sobre la calzada

ϕ_L : flujo total emitido por la luminaria

Generalmente se lo calcula más fácilmente por medio de las fotometrías que otorgan los fabricantes de las luminarias, a estas fotometrías se las puede encontrar habitualmente en función del cociente de la anchura de la calle/altura (A/H) o en función de los ángulos Y_1 , Y_2 orientado al lado de la calzada la acera respectivamente. Por lo tanto, para poder calcular el factor de utilización se tiene que sumar los coeficientes del lado de la acera, como el de la calzada.

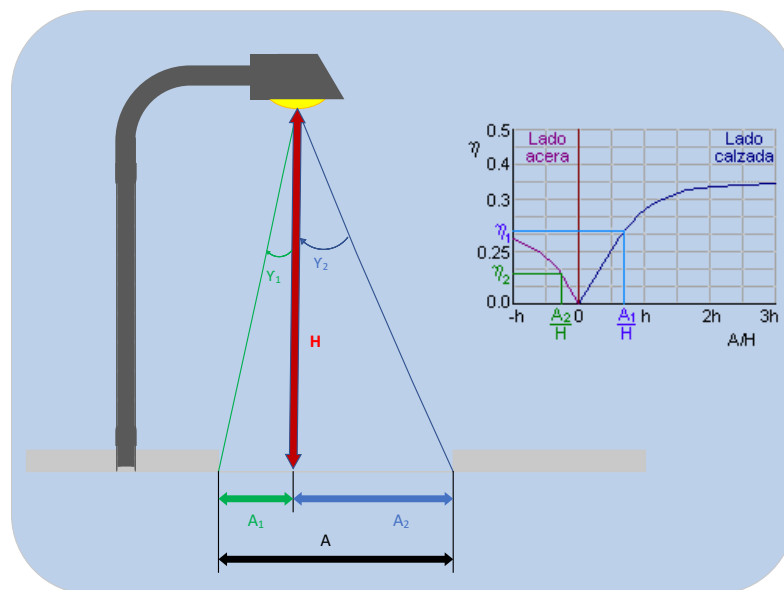


Figura 9 Curva del factor de utilización

$$\eta = \eta_1 + \eta_2 \quad (4)$$

Donde:

η : Utilización total

η_1 : Utilización sobre la calzada

η_2 : Utilización sobre la acera

Finalmente, una vez habiendo obtenido los diferentes factores que clasifican la calzada se procede a realizar el cálculo de separación de luminarias por medio de la siguiente ecuación matemática, en la cual se deberá despejar la distancia (d):

$$E_m = \frac{\eta \times f_m \times \phi_L}{A \times d} \quad (5)$$

Donde:

d : es la separación que deben tener las luminarias

f_m : Factor de mantenimiento

E_m : Corresponde al valor esperado

η : Es el factor de utilización de la instalación

ϕ_L : Flujo luminoso de la lámpara

A : Es la anchura de la calzada a iluminar, para la disposición unilateral y tres bolillos se utiliza (A), en cambio para disposición bilateral pareada se utiliza ($A/2$)

2.3.2 Método de los 9 puntos

El método de los 9 puntos es el método más usado con la misma finalidad de lograr la estimación adecuada de la longitud de separación entre las luminarias, el cual se empieza con la asignación de un tramo de la calzada, con la colocación de luminarias separadas por una distancia (d)

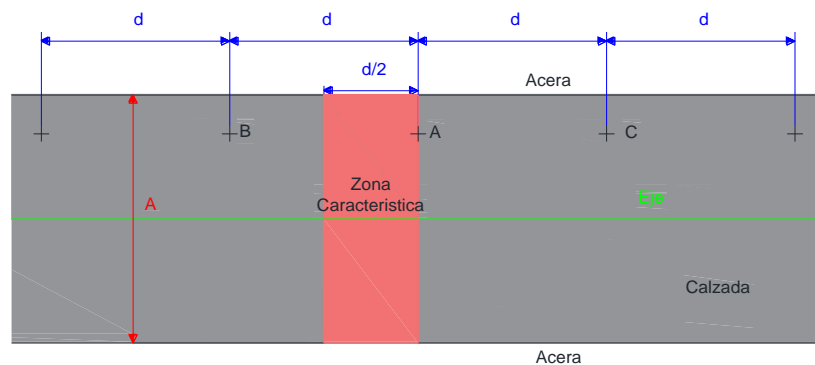


Figura 10 Determinación de la calzada

Posteriormente se deberá evaluar los cálculos en tres luminarias juntas, bastará con realizar los cálculos en la zona característica una sola vez, debido a que, a lo largo de la calzada, estos valores serán los mismos. Una vez señalada la zona característica se procede a dividirla en 9 dominios en los cuales se podrá evaluar las luminancias.

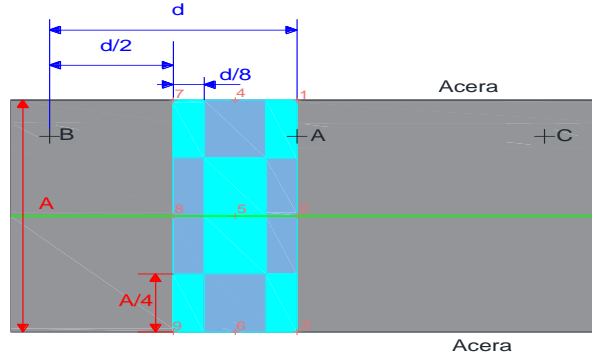


Figura 11 Distribución de puntos dentro de la calzada

Se procede a colocar la curva fotométrica de una luminaria con la que se vaya a trabajar, sobre una de las luminarias en el plano de trabajo para leer los valores relativos en cada punto marcado. A partir de este punto se evalúa la información de las iluminancias ubicadas en todos los puntos aplicando la siguiente fórmula:

$$E_m = \frac{\sum_{i=1}^9 E_i \cdot S_i}{\sum_{i=1}^9 S_i} = \frac{E_1 \cdot S_1 + E_2 \cdot S_2 + \dots + E_n \cdot S_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_n} \quad (6)$$

Sujeto a:

$$S_1 = S_3 = S_7 = S_9 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{8} = \frac{Ad}{32} = S_1 \quad (7)$$

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

$$S_4 = S_6 = \frac{A}{4} \cdot \frac{d}{4} = \frac{Ad}{16} = 2S_1 \quad (9)$$

$$S_5 = \frac{A}{2} \cdot \frac{d}{8} = \frac{Ad}{16} = 4S_1 \quad (10)$$

Donde:

E_i : Iluminancia real en el punto de cálculo

S_i : Área del dominio de trabajo

Para la estimación de la iluminancia en los diferentes puntos de trabajo se lo realiza a través de la siguiente ecuación:

$$E_r = E_c \frac{\phi_L}{1000} \times \frac{1^2}{H^2} \quad (11)$$

Donde:

E_r : Iluminancia real en el punto

E_c : Iluminancia calculada en la curva

ϕ_L : Flujo luminoso de la luminaria

H : Altura de montaje de la luminaria

Para el cálculo de le iluminancias sobre cada punto de los segmentos marcados previamente se considera únicamente el aporte de las luminarias más cercanas, despreciando a las demás por ser insignificantes, resumiéndolo en:

Tipo de distribución	Fórmula empleada
<p>Tres bolillos</p>	$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} \quad (12)$
<p>Unilateral</p>	$E_i = E_{iA} + E_{iB} + E_{iC} + E_{iD} + E_{iE} + E_{iF} \quad (13)$
<p>Bilateral</p>	

Tabla 5 Fórmulas para e tipo de disposición de la calzada

Una vez obteniendo los resultados por el método de los 9 puntos se puede estimar los coeficientes de uniformidad la cual representa que tan distribuida esta la iluminación sobre la calzada. La cual se lo calcula a través de la siguiente expresión

$$U_m = \frac{E_{min}}{E_m} \quad (14)$$

Donde:

U_m : Uniformidad media

E_{min} : Iluminancia mínima

E_m : Iluminancia media

CAPÍTULO III

CRITERIO DEL DISEÑO DEL SISTEMA DE ILUMINACIÓN

El diseño de alumbrado público y ornamental será realizado en el plano de trabajo del campus universitario, que actualmente posee un sistema de alumbrado anticuado y deficiente. La tecnología de iluminación existente consta con luminarias a base de vapor de sodio, las cuales utilizan grandes cantidades de energía para poder funcionar, ofreciendo un índice de rendimiento muy bajo. Adicionalmente la apreciación de las instalaciones del campus no favorece su aspecto estético, debido a que no genera el impacto visual adecuado en los estudiantes y público general.

Se realizará un diseño completamente, nuevo cumpliendo con los estándares de calidad en base a la normativa europea (CIE), la distribuidora local (EEQSA) y las unidades de propiedad (MEER), debido al alto consumo de energía eléctrica causado por las tecnologías existentes. Del mismo modo, mejorar el aspecto estético del campus, realizando el diseño del sistema de alumbrado ornamental y decorativo, que brinde un aspecto mucho más estético, haciéndolo atractivo hacia la vista, evitando el deslumbramiento excesivo y la contaminación tanto lumínica, como visual.

3.1 DISEÑO DE ALUMBRADO PÚBLICO VIAL

Para el diseño del sistema de alumbrado público se empieza con la obtención de los planos arquitectónicos del campus universitario, que serán utilizados como plano de trabajo. Cabe señalar que las distancias del plano arquitectónico, deben ser comprobadas con las distancias reales de las vías existentes para poder trabajar sin inconvenientes. De modo que, al momento de utilizar los simuladores, el ingreso de los datos correspondientes sean exactos y así obtener resultados más precisos.

Con las medidas previamente comprobadas, se procede al ingreso de los datos en el software DIALux, con el fin de implementar luminarias a los diferentes tipos de vías que existen dentro del campus. Por otro lado, se sugiere el alumbrado público es lo primero que se debe diseñar antes de cualquier tipo de iluminación, puesto que, al implementar otro tipo de alumbrado (ornamental, decorativo, parqueaderos, etc.), debido a el alumbrado público incide de manera directa sobre los cálculos obtenidos

en diferentes campos de estudio, lo que afectará directamente las isolíneas de los planos luminotécnicos, haciendo que varíen los resultados sobre la calzada.

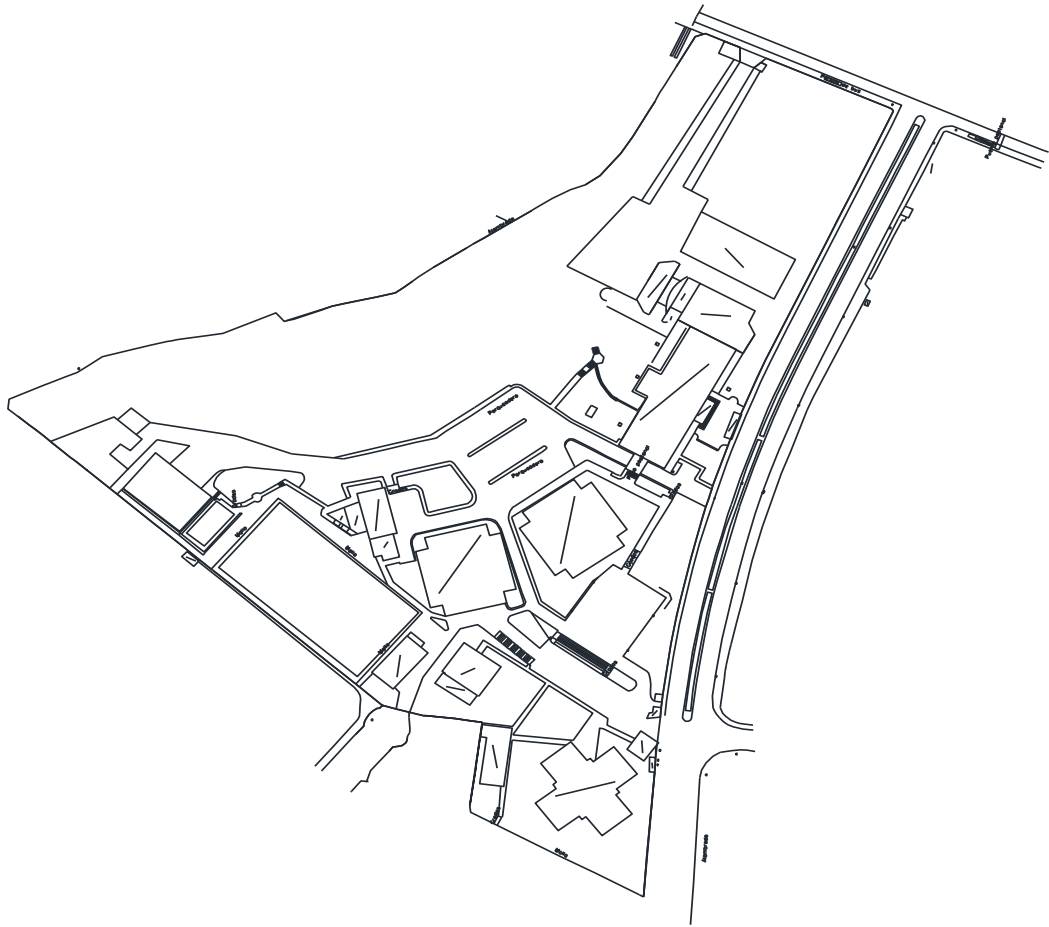


Figura 12 Planos del campus universitario

Como se menciona en la normativa CIE 115 para que una calzada sea categorizada como una vía pública debe superar la distancia de treinta y cinco metros de longitud, independientemente de su anchura. Puesto que, de ser inferior a la distancia establecida, será categorizada como alumbrado ornamental. Esto debido a que los cálculos que ejecutan los softwares, son realizados con uno o varios observadores, ubicados a treinta metros del punto de luz.[3]

Determinación de los tipos de vía del campus universitario

Previamente se ha indicado que para la selección de una vía donde se diseñará el sistema de alumbrado público, la calzada debe cumplir ciertas condiciones establecidas, por consiguiente, se ha logrado establecer cuatro tipos de vías específicas dentro del campus universitario. En donde cada uno de los diferentes planos de trabajo tienen ciertas condiciones generales, que se detallan a continuación.

Acceso de entrada principal:

- Longitud de calzada sesenta y ocho metros
- Ancho de vía seis metros y un carril

Acceso lateral:

- Longitud de calzada sesenta y seis metros
- Ancho de vía siete metros y medio con un carril y zona de parqueadero

Unión entre parqueaderos:

- Longitud de calzada noventa y cuatro metros
- Ancho de vía cinco metros y un carril

Zona interna:

- Longitud de ciento y treinta metros
- Ancho de vía siete metros y medio, carril un sentido y zona de parqueadero

Adicionalmente, el campus cuenta con un adoquinado gris claro en los 4 tipos de vías mencionadas, haciéndose acreedor a un coeficiente de reflectividad de la calzada de 0,7. Asimismo, para la determinación del tipo de vía según su tipo (Motorizada, Zonas de conflicto y Peatonal) se analiza la velocidad de los vehículos, la densidad del tráfico y el tipo de tráfico existente sobre las vías a trabajar.

Al tratarse de un campus universitario en donde el tipo de tráfico es mixto, además que, posee una densidad de tráfico media y la velocidad vehicular no supera los 30 km/h. La categoría de clase M (Motorizado) es la que más se ajusta a las características de todas las vías dentro del campus, tal y como se menciona en la normativa CIE 115, este tipo de vías encajan perfectamente dentro de la categorización escogida.

Parámetro	Opciones	V_w selecto
Volumen de trafico	Moderado	0
Velocidad	Moderado	0
Separación de carriles	No	1

Composición del tráfico	Mixto	1
Densidad de intersección	Moderado	0
Parqueadero	Ausente	0,5
Control de tráfico	Pobre	0,5
Luminancia ambiental	Moderado	0

Tabla 6 Parámetros para la selección de las vías clase M

La categorización de la vía se obtiene del resultado de la suma de los valores ponderados, que fueron asignados según los parámetros tal y como se visualiza en la tabla 6, la cual se basa en la tabla 6 de anexos. Ya con la suma de los valores ponderados se recurre a la ecuación (2) donde se comprobó que todas las vías del campus universitario en las que se va a trabajar son M3.

$$M = 6 - V_{ws} \quad (2)$$

$$M = 6 - 3$$

$$M = 3 \therefore M3$$

Cabe señalar que, dos de las cuatro vías públicas en las que se va a trabajar cuentan con área de parqueadero, pero aun así, siguen perteneciendo a la categoría M3, debido a que tal y como se menciona en [3], en caso de que el resultado final del número de clase de categoría M no sea un número entero, se procederá a escoger su inmediato inferior (en este caso 3). Por tal motivo todas las vías de trabajo son pertenecientes a la categoría M3.

Determinación del tipo de montaje

Para las condiciones de montaje se debe realizar varias simulaciones y determinar cuál es la más indicada. Se debe cumplir con todos los parámetros establecidos de las normas, en base a las curvas isométricas de las luminarias reflejadas sobre la calzada. Una vez ejecutadas las simulaciones respectivas, se establece las siguientes condiciones para el tipo de montaje.

Acceso de entrada principal: Disposición Unilateral

- Distancia entre los mástiles de treinta y cinco metros
- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de cero grados
- Longitud del brazo de un metro y medio

Acceso lateral: Disposición Unilateral

- Distancia entre los mástiles de treinta metros
- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de diez grados
- Longitud del brazo de un metro y medio

Unión entre parqueaderos: Disposición Unilateral

- Distancia entre los mástiles de treinta metros
- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de cero grados
- Longitud del brazo de un metro y medio

Acceso interno: Disposición Unilateral

- Distancia entre los mástiles de treinta metros
- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de diez grados
- Longitud del brazo de medio metro

Simulaciones

Respecto a las simulaciones realizadas para las diferentes vías existentes, se ejecutó las simulaciones en el software DIALux en el cual se analizó cual sería la mejor opción de luminaria, entre la tecnología LED y vapor de sodio, asimismo, sus fotometrías respectivas se las analizará a detalle en el capítulo IV. Como resultado se logró encontrar el modelo de luminaria para los diferentes tipos de vías y, además, que estén disponibles en el mercado ecuatoriano.

Acceso de entrada principal:

- LIGMAN BIU-90004-LC-T3-A-W40

- Flujo luminoso de 9600 lm
- Luminaria de 75 W LED
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra

Acceso lateral:

- LIGMAN BIU-90004-LC-T2-A-W40
- Flujo luminoso de 9600 lm
- Luminaria de 75 W LED
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra

Unión entre parqueaderos:

- LIGMAN BIU-90004-LC-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 9600 lm
- Luminaria de 75 W LED
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra

Acceso interno:

- LIGMAN BIU-900011-LC-T2-A-W40
- Flujo luminoso de 11000 lm
- Luminaria de 90 W LED
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra

3.2 DISEÑO DE ALUMBRADO DE PARQUEADEROS

Una vez obtenidos los resultados de la iluminación pública vial, se procede al alumbrado para las zonas de parqueaderos de vehículos, renderizando el mismo plano de trabajo. Para ello, se delimitan las zonas de trabajo que, en este caso, son tres parqueaderos que tiene el campus universitario. Para la parte de normas se utilizará como referencia a la normativa europea establecida en “The Lighting Handbook”, donde, al igual que en el alumbrado público, se debe evaluar el parqueadero, para así obtener el requerimiento del mismo.



Tabla 7: Localización de los parqueaderos

Determinación de los parqueaderos

La clasificación del parqueadero dependerá de la densidad del tráfico, tal y como se lo muestra en la tabla 8, que está basada en la tabla 9 de anexos. Debido a que solo se indica el valor escogido con el cual se va a trabajar en las diferentes simulaciones. Se ha seleccionado tráfico pesado debido a que la comunidad universitaria tiene una densidad de tráfico alta, garantizando así la visibilidad necesaria a horas nocturnas. En consecuencia, todos los parqueaderos mencionados previamente, están clasificados de la misma manera, lo que facilita la simulación.

Zona de Parqueaderos	E_m	R_a
Tráfico pesado - áreas de estacionamiento de escuelas, iglesias, grandes centros comerciales, grandes complejos deportivos y de edificios polivalentes	20	20

Tabla 8 Niveles de iluminación para el tipo de lugar de trabajo, tarea o actividad al aire libre

Igualmente, para determinar las condiciones del montaje se debe ejecutar varias simulaciones y determinar cuál es la más indicada para cumplir con lo establecido en la normativa. Tomando en cuenta que es el mismo tipo de suelo, adoquinado gris claro con un factor de reflexión de 0,7. Una vez concluido las simulaciones respectivas, se establecen los siguientes tipos de montaje.

Parqueadero principal

- Distancia entre los mástiles de quince metros
- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de cinco grados
- Longitud del brazo de medio metro

Parqueadero lateral

- Distancia entre los mástiles de quince metros

- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de quince grados
- Longitud del brazo de un metro y medio

Parqueadero general

- Distancia entre los mástiles de quince metros
- Altura de montaje de nueve metros
- Inclinación del brazo de quince grados
- Longitud del brazo de un metro y medio

Simulación de parqueaderos

En cuanto el diseño del alumbrado de parqueaderos, se realizó varias simulaciones en el software DIALux EVO, en el cual, se analizó cual sería la luminaria adecuada para cumplir con todos los parámetros establecidos en las normas, garantizando una correcta iluminación para quienes ocupen esas áreas. Como resultado se logró obtener las luminarias que se ajustaron a todas las necesidades, además, que tenga disponibilidad en el mercado ecuatoriano. Asimismo, las curvas fotométricas respectivas se las analizará en el capítulo IV.

Parqueaderos del campus:

- LIGMAN BIU-90003-LC-T2-A-W40
- Flujo luminoso de 7590 lm
- Luminaria de 60 W LED
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra

3.3 DISEÑO DE ALUMBRADO ORNAMENTAL

Con el alumbrado de espacios públicos viales realizados, lo que resta es el alumbrado de áreas verdes y decorativas. Motivo por el cual, es necesario tener el campus universitario renderizado en 3D, dentro del software DIALux EVO, con el mayor número de detalles posibles. Con el fin lograr una mejor visualización de resultados al momento de la simulación, de igual manera, los cálculos respectivos se los ejecutara en el mismo software.

Para evitar colocar nuevos mástiles para el alumbrado ornamental, se aprovechará los mástiles empleados previamente en el alumbrado público, en los cuales se posicionarán las luminarias dirigidas hacia las áreas verdes, así se logra minimizar el uso de nuevos mástiles, lo cual amplía el campo de visión y reduce la contaminación visual, asegurando de igual manera una iluminación suficiente para el ámbito de seguridad y vigilancia nocturna.

Áreas verdes

Con el plano ya renderizado, en el software DIALux EVO, se realiza la asignación de las áreas verdes, que serán los planos de trabajo en donde se realizara las simulaciones respectivas. Al tratarse de las zonas recreativas se tomó en cuenta que, no es necesaria una iluminación abundante, sino más bien contar con un sistema de iluminación suficiente para la visualización de objetos e individuos. Debido principalmente a que la iluminación artificial altera el desarrollo de las plantas, que son afectados por la luz en horas nocturnas, además de un consumo de energía que se puede evitar.

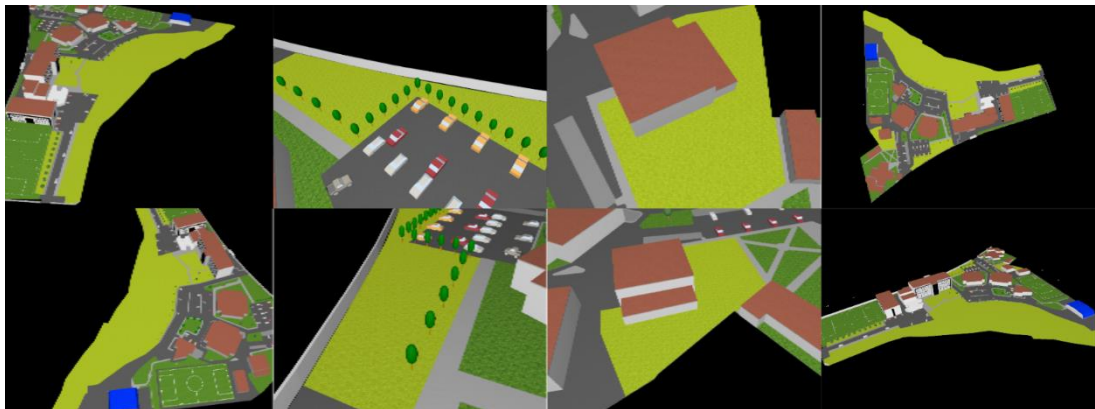


Figura 13 Asignación de áreas verdes

Un aspecto que se debe considerar es la dirección en la cual la luz sale de las luminarias, por lo cual se debe trabajar con fuentes de iluminación que dirijan su luz en su totalidad hacia el suelo. Evitando interferir con la fotosíntesis en el follaje de los árboles y a su vez, no causar contaminación lumínica, obteniendo una iluminación a nivel de suelo que garantice una buena visibilidad del usuario.

Para la parte de normativa se utilizará como referencia a la norma europea establecida en “ITC EA” para asegurar una correcta iluminación. Con las áreas verdes previamente delimitadas, se procede a la evaluación de la zona de riesgo que representa cada una de ellas, tal y como se visualiza en la tabla 9 que está basada en la tabla 1. Donde se

selecciona el nivel de iluminación que se debe cumplir para poder proceder con las simulaciones respectivas.

Areas de riesgo	Nivel sugerido (lux)
Normal	10

Tabla 9 Nivel de iluminación para vigilancia nocturna

Al tratarse de un campus universitario su nivel de riesgo escogido es normal, por lo cual se establece que todas las áreas verdes dentro del campus tienen el mismo nivel común de riesgo, lo que facilita la implementación de luminarias en la simulación.

Simulación de las áreas verdes

Para el diseño del sistema de iluminación correspondiente de las áreas verdes del campus, se realizaron varias simulaciones, probando diferentes luminarias, al igual que su tipo de montaje para cumplir los requisitos previamente establecidos. Como resultado de las simulaciones se logró la obtención de las luminarias que se ajustan a todas las necesidades previamente mencionadas, además de ser de la misma marca del alumbrado público y de los parqueaderos.

Para cumplir con todos los parámetros planteados se probó diferentes tipos de luminarias a diferentes alturas combinadas, con el objetivo de proporcionar una visibilidad apropiada y no exagerada. Posicionando algunas luminarias en los postes de luz que previamente fueron fijados para el sistema de alumbrado público. Una vez considerado todos los factores se establecen los diferentes tipos de luminaria y montajes. De igual manera su fotometría se explicará a detalle en el capítulo IV.

Área verde lateral y deportiva

Al tratarse del área verde más extensa del campus universitario, se ha implementado tres tipos de luminarias con distintas alturas de montaje. Mientas que el área deportiva corresponde a un segmento pequeño donde se encuentra la cancha de fútbol, donde se utilizó un mismo tipo de luminaria a una altura determinada para garantizar la visibilidad.

Zona periférica

- LIGMAN BIU-90021-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 20000 lm, 150 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de doce metros con inclinación a treinta grados
- Separación entre mástiles de cuarenta metros
- Brazo doble combinado a noventa grados de metro y medio de largo c/u

Zona de facultades

- LIGMAN BIU-90004-LC-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 9600 lm, 40 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de siete metros con inclinación a veinticinco grados
- Separación entre mástiles de treinta metros
- Brazo doble combinado con el de AP de metro y medio de largo c/u

Zona de recreación

- LIGMAN BIU-90002-LC-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 5700 lm, 40 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de siete metros con inclinación a veinticinco grados
- Separación entre mástiles no aplica
- Brazo doble combinado a noventa grados de metro y medio de largo c/u
- Brazo doble combinado a ciento ochenta grados de metro y medio de largo c/u

Zona de entrada lateral

- LIGMAN BIU-90002-LC-T2-A-W40
- Flujo luminoso de 5700 lm, 40 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de siete metros con inclinación a veinte y treinta grados
- Separación entre mástiles de treinta y quince metros
- Brazo simple de medio metro en mástil de AP y de parqueadero

Zona deportiva

- LIGMAN BIU-90004-LC-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 5700 lm, 40 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de siete metros con inclinación a quince grados
- Separación entre mástiles de veinte metros

- Brazo simple de medio metro

Área verde posterior e interna

Al mencionar el área verde posterior se hace referencia a la parte de la entrada ubicada detrás del campus, donde se requiere iluminación por el ámbito de seguridad y vigilancia nocturna. Mientras que, la zona interna corresponde al área verde ubicada al costado del campus, donde se brinda una iluminación necesaria que cumpla todos los parámetros previamente mencionados.

Zona posterior

- LIGMAN BIU-90002-LC-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 5700 lm, 40 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de siete metros con inclinación a treinta grados
- Separación entre mástiles no aplica
- Brazo doble combinado a ciento veinte grados, de metro y medio de largo c/u

Zona interna

- LIGMAN BIU-90002-LC-T3-A-W40
- Flujo luminoso de 5700 lm, 40 W LED, 4000 °K
- Altura de montaje de siete metros con inclinación a veinticinco y quince grados
- Separación entre mástiles de dieciséis metros
- Brazo simple de un metro en mástil de parqueadero y brazo simple de medio metro independiente

Áreas peatonales

Los pasos peatonales están muy presentes dentro del campus universitario, se los puede encontrar en forma de aceras, senderos, escaleras y caminos que unen las facultades, por ende, es necesario una iluminación que permita la correcta visibilidad a los peatones, pero a su vez, sea de preferencia al ras del suelo, para evitar que la luz se dirija hacia las plantas. Así se logra garantizar una iluminación correctamente direccionada hacia su objetivo evitando la contaminación lumínica.

En cuanto a la normativa, el proyecto está basado en la norma CIE 115 donde se muestra los valores recomendados para pasos peatonales, tal y como se lo visualiza en la tabla 10, donde se ha escogido el valor correspondiente para los pasos peatonales del campus universitario. De igual manera en la tabla 11 se muestra la asignación escogida para las gradas que tiene la institución. Estas tablas están basadas las tablas 1 y 3 que se encuentran en la parte de anexos.

Lugar	E_H med (lux)	E_H min (lux)	E_{sc} min (lux)
Centro ciudad	10	5	3

Tabla 10 Niveles de iluminación para pasos peatonales

Area	E_H (lux)	E_V (lux)
Escaleras en el frontal del escalón	>40	-

Tabla 11 Niveles de iluminación de gradas

Para las simulaciones respectivas, con el fin de obtener una iluminación que satisfaga todas las necesidades previamente mencionadas se probó distintas luminarias, al final se logró encontrar la luminaria adecuada, misma que será empleada en todos los caminos dentro del campus, esto con el fin de brindar un escenario mucho más estético, además de tener la disponibilidad dentro del mercado ecuatoriano.

Caminos peatonales y gradas del campus del campus:

- RZB TOP SLOPIA 611863.0031
- Flujo luminoso de 380 lm
- Luminaria de 5 W LED
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra
- Separación entre luminaria de cuatro metros

Existe la ventaja que tanto las luminarias empleadas en las áreas verdes como las utilizadas en los pasos peatonales, aportan en conjunto con la iluminación respectiva para las gradas dentro del campus. Cumpliendo con todos los aspectos que se menciona en las normas, garantizando así, una correcta visibilidad, sin emplear demasiada luz, sino más bien solo lo necesario, que es lo recomendado.

Alumbrado decorativo

El alumbrado decorativo tiene un papel fundamental en el aspecto estético que ofrece el campus a la vista del usuario. Por tal motivo, es importante mencionar, que no es necesario decorar todos los edificios del campus, sino más bien solos los principales, los que tienen un mayor índice de atracción por parte de los usuarios. Además de eso, se tiene en consideración que la iluminación de fachadas refleja un gasto extra, por tal motivo solo se iluminará los edificios principales para generar asombro en las personas al visualizar las fachadas decoradas.

Para este caso se decorarán con luz dos edificios, que son los que se encuentran en las entradas principales, con la precaución de dirigir la luz a su objetivo, ya que, en el tema de alumbrado decorativo es donde más contaminación lumínica existe debido a que la luz es mal dirigida y desperdiciada. La ventaja de este campus es que ambos edificios principales son idénticos arquitectónicamente, lo cual facilita su diseño de iluminación.

Un detalle adicional de que la iluminación decorativa siempre trata de hacer resaltar algo característico de la fachada logrando captar la vista de los usuarios. Para el diseño decorativo del campus se utilizará los colores emblemáticos de la institución educativa tales como el azul, amarillo y blanco, colores que se logran solo con la variación de la temperatura de las luminarias, logrando así, una decoración emblemática con los colores propios de la institución.

Los edificios tienen un acabado de color blanco, lo que ayuda en gran parte a la distribución y reflejo de la iluminación proporcionada por las luminarias instaladas. Para poder explicar la decoración de los edificios, se los ha dividido en tres partes con diseños diferentes, lo cual genera un aspecto muy llamativo que sea agradable ante la vista del público y con luminarias que se las puede encontrar en el mercado ecuatoriano.

Arco general

- Manguera LED color azul
- Flujo luminoso de 250 lm
- Luminaria de 30 W LED

Arco específico

- Manguera LED color amarillo 2500 °K
- Flujo luminoso de 250 lm
- Luminaria de 30 W LED
- SYLVANIA R4 MH35W G8.5 NAR (ojos de buey para los pilares)
- Flujo luminoso de 3400 lm (ojos de buey para los pilares)
- Luz cálida de 3200 °K (ojos de buey para los pilares)

Bañado de fachada

- LIGMAN LEE-30031-MM-W40
- Flujo luminoso de 1585 lm
- Luminaria de 15 W
- Blanco neutro 4000 °K

3.4 SOLICITUD DE LA INSTITUCIÓN

La institución educativa ha solicitado la implementación del sistema de iluminación, que sea alimentado por energía solar fotovoltaica, para el área de la facultad de electricidad. Debido a que toda el área correspondiente a esta facultad es autosustentable, ya que cuenta con varios paneles solares que abastecen el suministro eléctrico, por tal motivo la iluminación exterior no debe ser la excepción. Las áreas solicitadas son la zona de parqueadero y al área verde correspondiente de la facultad.

El alumbrado público al ser una carga constante durante toda la noche, refleja un rubro en la factura emitida de la energía eléctrica, por tal motivo, con el transcurso de los años, se ha venido innovando nuevas tecnologías para disminuir su consumo, generando un ahorro al momento de pagar las planillas de luz. Una de estas tecnologías de ahorro son las luminarias LED, que ofrece una iluminación superior al resto de las tecnologías, con la peculiaridad de que su consumo es mucho mejor, lo que reduce significativamente el consumo en alumbrado público.

Adicionalmente, también se ha innovado un método de ahorro de energía, la cual implica paneles solares para la alimentación de las luminarias. Esto se lo logra gracias a un panel fotovoltaico que capta los rayos solares en el transcurso del día y los convierte en energía eléctrica, la cual será almacenada en un banco de baterías, que

posteriormente a través de una fotocélula enciende la luminaria al presenciar la noche, misma que será alimentada por el banco de baterías previamente mencionado.

Este sistema de iluminación fotovoltaico ha venido desarrollándose a través del tiempo, mejorando la captación y almacenamiento de energía, evitando ocupar mucho espacio sobre el mástil, ayudando notoriamente en su estética al momento de la implementación dentro de los diferentes proyectos. Brindando así una iluminación sin costo de generación, pero con un costo de mantenimiento más elevado que el resto de las tecnologías.

Zona de parqueaderos

Para el diseño de iluminación del parqueadero se delimita la zona de trabajo, en la cual se va a implementar la iluminación, tomando en consideración la normativa establecida en la tabla 8. Al tratarse del parqueadero dentro de la misma institución, los parámetros que se deben cumplir son los mismos utilizados en los parqueaderos previamente diseñados, lo cual facilita el diseño del mismo.

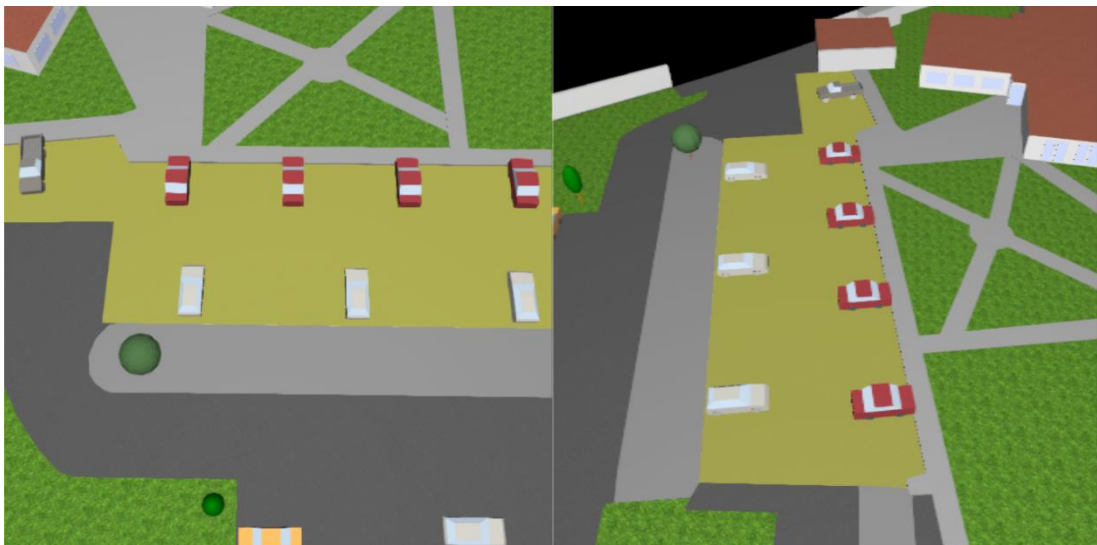


Figura 14 Determinación del parqueadero para iluminación fotovoltaica

Para la simulación correspondiente, se trabajó en el mismo plano renderizado en 3D dentro del software DIALux EVO, para colocar las luminarias correspondientes, logrando determinar su altura y distancia entre mástiles, que más se ajusten a los parámetros que recomiendan las normas. Así se garantiza una visibilidad adecuada y suficiente para las actividades nocturnas y además de eso lograr minimizar

implementación de mástiles. Asimismo, lograr determinar la altura y separación correcta para cumplir con todos los parámetros requeridos.

Parqueadero con iluminación fotovoltaica

- WERISE LED 120W Solar Flood
- Flujo luminoso de 12000 lm
- Área del panel 1.85 m x 0.80 m
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra
- Cuanta con 2 baterías de litio para una autonomía de hasta 12 horas con carga completa
- Altura del punto de luz a 9 metros con brazo de un metro y medio

Área verde fotovoltaica

Como se ha mencionado anteriormente, una de las solicitudes por parte de la institución, es iluminar el área verde correspondiente a la facultad de electricidad con energía fotovoltaica. Por tal motivo, se procede a la iluminación para el área correspondiente, tomando en cuenta los aspectos previamente mencionados como el que no es necesario iluminar en exceso, sino solo lo necesario que garantice una correcta visibilidad para el tema de seguridad y vigilancia nocturna.

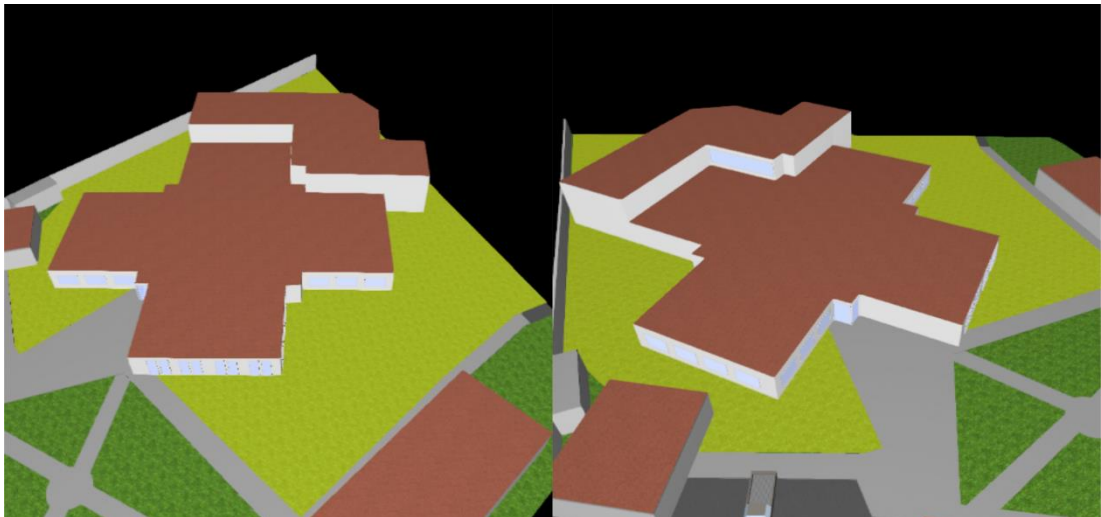


Figura 15 Determinación del área verde para la iluminación fotovoltaica

Ya con la asignación correspondiente del área previa a iluminar, se procede con la simulación con diferentes luminarias que más se ajusten a las necesidades establecidas por las normas. Además de eso de brindar un tema estético y no causar contaminación visual. Para esta zona se ha empleado la misma luminaria alimentada con energía solar

que se utilizó en la zona de parqueaderos, esto con el fin de no tener problemas con los proveedores de este producto ya que no es un producto muy comercializado en Ecuador, sino que se lo maneja todo por convenios de importación.

- GEBOSUN LED 60W Solar Flood
- Flujo luminoso de 6000 lm
- Área del panel 1.85 m x 0.80 m
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra
- Cuanta con 2 baterías de litio para una autonomía de hasta 12 horas con carga completa
- Altura del punto de luz a 9 metros con brazo de un metro y medio

3.5 CANCHAS DEPORTIVAS

Las canchas deportivas de recreación están presentes en este tipo de instituciones educativas, por lo cual es necesaria la iluminación de las mismas, para ello se empleará la normativa española UNE, la cual brinda las recomendaciones necesarias para todo tipo de espacios deportivos garantizando una iluminación uniforme y que no sea molesto hacia el ojo humano. Para ello lo primero es la categorización del tipo de cancha deportiva que se va a iluminar en base a la tabla 9 de anexos.

Clase	Iluminación horizontal (lux)	Uniformidad	Rendimiento cromático	Valoración de brillo
III	200	0,5	>20	N/A

Tabla 12 Niveles de iluminación para eventos no televisados

La tabla 12 muestra la selección para las canchas de fútbol que se encuentran dentro del campus universitario donde la categoría III hace referencia a las canchas destinadas a entrenamiento, educación física y actividades recreativas como pueden ser el futbol, voleibol, balón mano y baloncesto dentro de las instituciones educativas, lo cual se ajusta perfectamente a las necesidades requeridas.

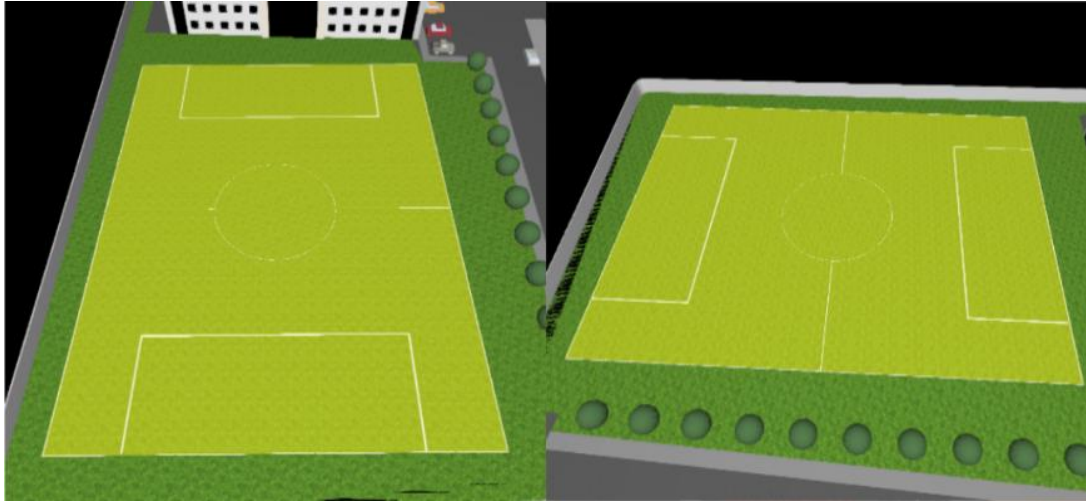


Figura 16 Determinación de las canchas deportivas

Ya con la categoría asignada, se procede a la delimitación de las canchas dentro del campus, en donde se encuentran dos canchas de futbol, una con un área de 45 x 60 metros, mientras que la otra cancha ocupa un área de 35 x 70 metros, ubicadas a los extremos del campus. Para la iluminación deportiva generalmente se utiliza arreglo de luminarias suspendidas en mástiles ubicados a los laterales de las canchas, esto con el fin de proporcionar una correcta iluminación para la visualización de los objetos evitando la fatiga visual de los deportistas.

Simulación

Para las simulaciones respectivas se utilizó el programa DIALux EVO en donde simulo diferentes escenarios, probando varias luminarias a diferentes alturas, con el fin de lograr cumplir los parámetros establecidos por las recomendaciones correspondientes. Como resultado se logró encontrar las luminarias que más se ajustan a las necesidades requeridas, con la peculiaridad de que las luminarias implementadas son las mismas para ambas canchas, con la diferencia que cambia su geometría y arreglo dentro del mástil que las suspende. Además de eso de tener disponibilidad en el mercado ecuatoriano.

Cancha general

- SCHREDER ECOBLAST 3 5356 180 OSOLON SQUARE GIANT
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra
- Flujo luminoso de 88000 lm a 680 W
- Arreglo de 3x1 a doce metros de altura

- Separación de mástiles de treinta metros

Cancha Cerrada

- SCHREDER ECOBLAST 3 5356 180 OSLON SQUARE GIANT
- Temperatura de 4000 °K, luz neutra
- Flujo luminoso de 88000 lm a 680 W
- Arreglo de 3x1 a doce metros de altura
- Separación de mástiles de treinta metros

CAPÍTULO IV ANÁLISIS Y RESULTADOS

El presente capítulo presenta una recopilación de todos los resultados obtenidos del proyecto, así como los respectivos criterios de diseño que se tomó en consideración para la elaboración del mismo.

Es preciso tener presente que todos los resultados obtenidos en este capítulo se los obtuvo con la ayuda de distintos softwares, debido a que en la actualidad se han transformado en instrumentos necesarios para el diseño de iluminación. Por tal motivo no se ha realizado cálculos a mano ni en otro programa adicional, ya que en la actualidad los entes regulatorios solicitan los resultados obtenidos de las simulaciones.

Los softwares empleados para el diseño son DIALux y DIALux Evo, los cuales están certificados por diferentes entes regulatorios (ARC, REBT, CENACE, entre otros), lo que garantiza un resultado con la mayor precisión posible. Con ello se obtiene una disminución de tiempo en la entrega de resultados y adicionalmente una experiencia visual, en la cual se puede observar cómo sería montarlo en la vida real.

4.1 ALUMBRADO PÚBLICO

Dentro del campus universitario se tiene la presencia de cuatro vías principales, las cuales conectan las entradas con los parqueaderos, estas calzadas corresponden a la categoría M3 por sus características propias tal y como se lo demostró en el capítulo 3. A continuación se muestra los resultados obtenidos de las diferentes vías de la institución educativa.

Entrada principal

Esta calzada es la que conecta la entrada principal con el parqueadero principal, con una longitud de sesenta y ocho metros, y una anchura de seis metros. Los resultados obtenidos son los siguientes:

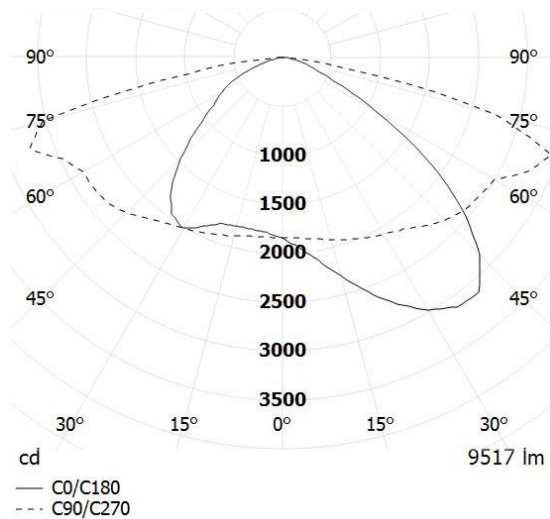


Figura 17 Fotometría de la luminaria de la entrada principal

Dentro del grupo de fotometrías que pertenecen a los modelos de las luminarias se encuentran diferentes tipos de fotometría, para esta calzada se ha considerado escoger aquella que tenga un ángulo amplio de cobertura que se visualiza en el plano 0-180°, asimismo una dirección de su luz enfocada directamente a la calzada, tal y como se la visualiza en el plano 90-270°. Para la entrada principal se ha seleccionado la fotometría que se la puede apreciar en la figura 16.

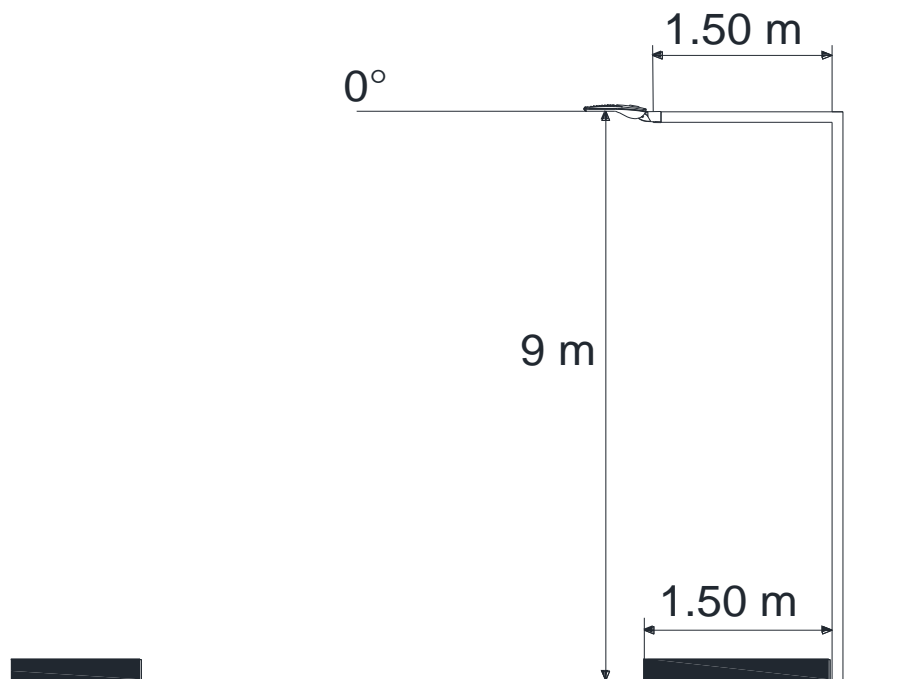


Figura 18 Tipo de montaje de la entrada principal

La altura de montaje, al igual que la distancia del brazo se aprecia en la figura 17, el grado de inclinación del brazo tiene un valor correspondiente a 0° debido a que no es

necesario de una inclinación superior, ya que la disposición de la luz va directa hacia la calzada, lo que garantiza una correcta visualización sobre la vía.

Para esta calzada, al tener no tener una acera peatonal, sino más bien que su calzada es directamente un área verde, se ha establecido que los mástiles sean posicionados directamente sobre la zona verde. Esto debido a que la implementación de los mástiles no afectará la circulación de los peatones y de ese modo permitirá alumbrar la calzada correspondiente.

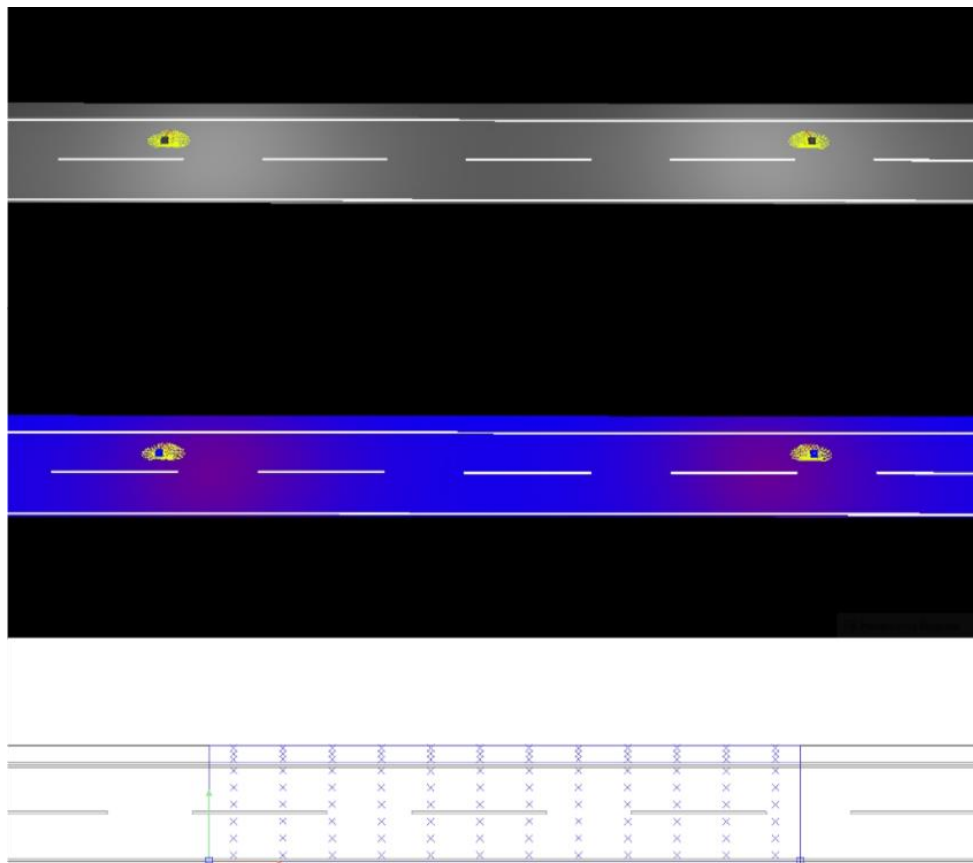


Figura 19 Resultados de la entrada principal

El diseño de alumbrado público se lo realiza en el software DIALux que está enfocado directamente en cálculos de las calzadas, la mecánica de trabajo es en base a la metodología europea de los nueve puntos. En la figura 18 se puede visualizar una uniformidad adecuada para la visibilidad sobre la calzada, así mismo, se muestra una simulación de como sería en la vida real.



Figura 20 Simulación de la entrada principal

La figura 19 es una apreciación similar a la implementación en la realidad del proyecto, garantizando una correcta visibilidad al momento de circular. Se ha instalado dos mástiles en la cual se monta la luminaria con el propósito de iluminar correctamente la calzada. La parte oscura alrededor se debe a que para temas demostrativos solo se muestra la calzada iluminada, sin tomar en cuenta el resto de alumbrados.

Entrada lateral

Esta calzada corresponde a la vía que conecta la entrada lateral con el parqueadero lateral, cuenta con una longitud de sesenta y seis metros, y una anchura de siete y medio metros. Los resultados obtenidos son los siguientes:

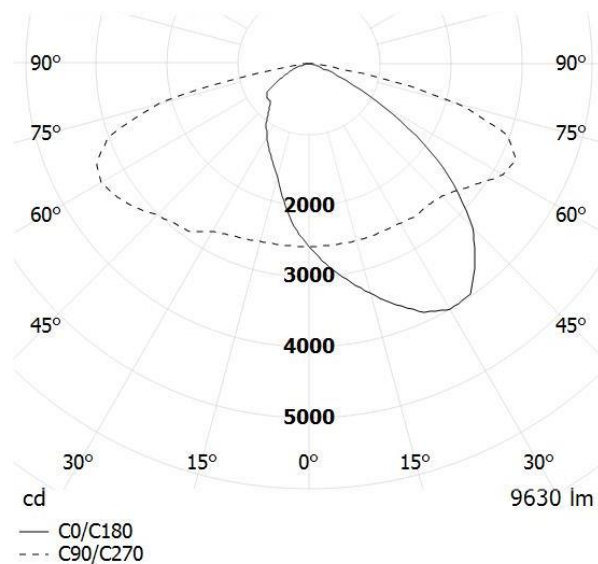


Figura 21 Fotometría implementada en la entrada lateral

La fotometría que se ajustó a todos los parámetros establecidos previamente, se la puede visualizar en la figura 20. Con la peculiaridad de que su apertura en el plano 0-180° es más amplia, gracias a esta apertura de dispersión de luz, se logra abarcar más

espacio iluminado, con una mayor uniformidad. Y gracias al direccionamiento de la luz en el plano 90-270° se ilumina solo la calzada correspondiente.

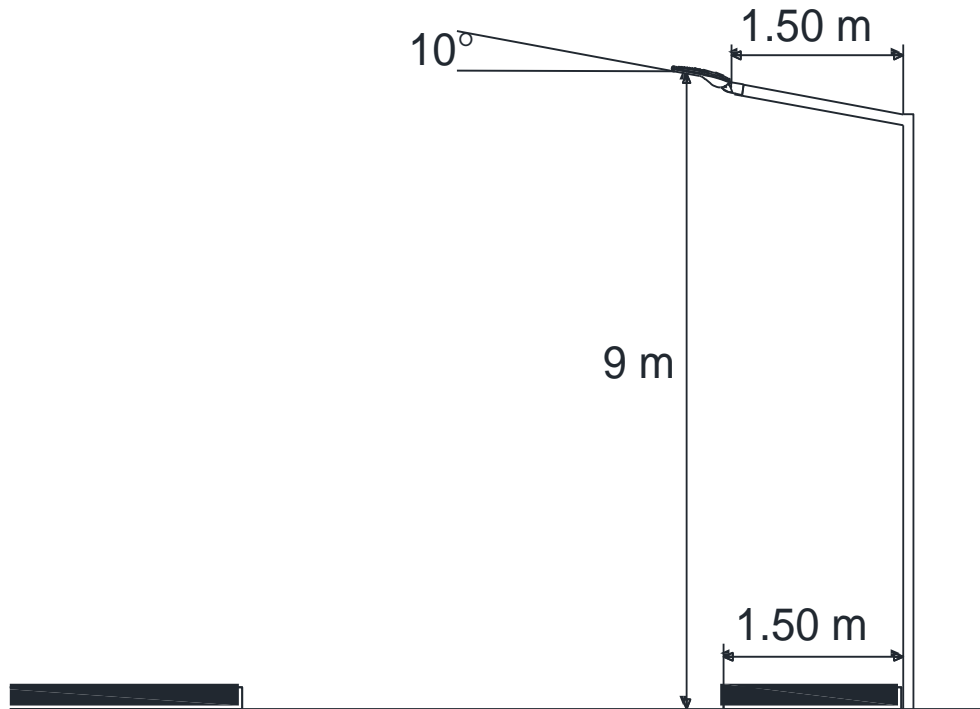


Figura 22 Tipo de montaje de la entrada principal

La altura de montaje correspondiente a esta calzada, al igual que la distancia del brazo se aprecia en la figura 17, su brazo tiene un valor de inclinación correspondiente a 10°, debido a que la luminaria empleada en esta vía tiene una fotometría en la cual es recomendable una pequeña inclinación, para brindar una dirección de luz que vaya directamente hacia la calzada, lo que garantiza una correcta visualización sobre la vía.

Esta calzada, al tener una acera peatonal que ingresan por la entrada lateral, se ha establecido que los mástiles correspondientes a la iluminación sean posicionados fuera de la acera. Permitiendo la libre circulación entre los peatones sin obstáculos que dificulten la circulación, cumpliendo el objetivo de iluminar correctamente la calzada

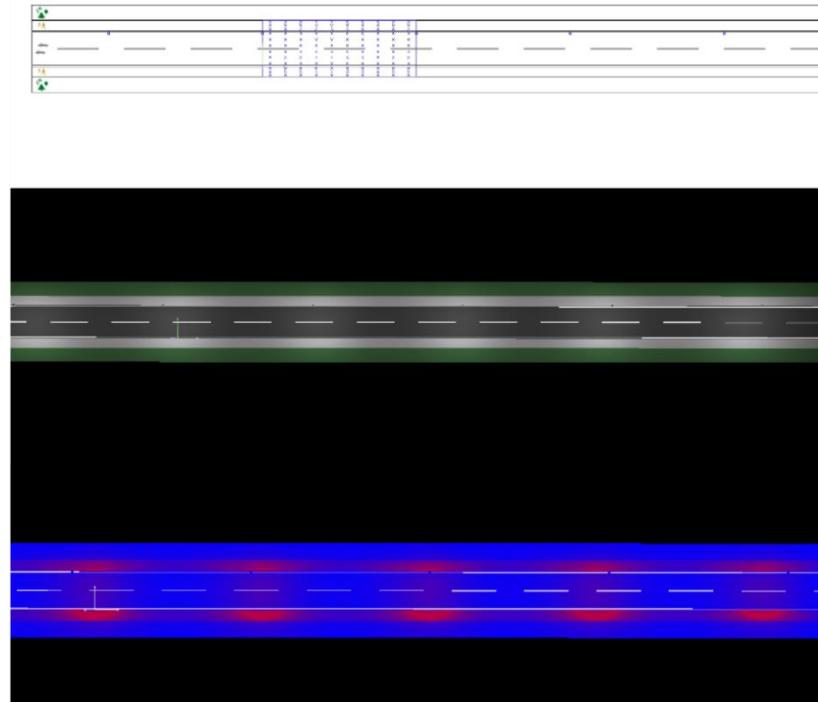


Figura 23 Resultados de la calzada lateral

En la figura 21 se muestra la calzada, con la zona en la que el software realiza los cálculos. Asimismo, se puede apreciar la iluminación tal cual se vería en la vía, en caso de ser implementado en la realidad. Además, se puede visualizar una uniformidad adecuada para la visibilidad sobre la calzada. Las aceras tienen un mayor índice de luz al estar a una altura superior de la vía, por ende, en los resultados se representa con un tono más rojizo que el resto de los demás.

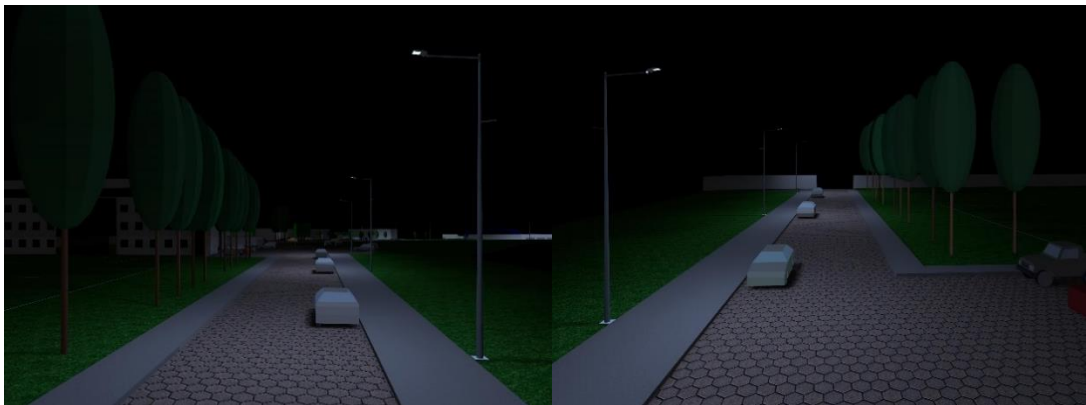


Figura 24 Simulación de la entrada lateral

La figura 23 muestra una apreciación similar a la implementación en la realidad del proyecto, en la cual se garantiza una correcta visibilidad al momento de circular en la vía. Se ha instalado tres mástiles en la cual se monta la luminaria con el propósito de iluminar correctamente la calzada. Estos mástiles servirán para la implementación del alumbrado ornamental que se mostrará posteriormente.

Unión entre parqueaderos

La calzada correspondiente a la unión de los parqueaderos consta con una longitud de noventa y cuatro metros, con una anchura de cinco metros. Los resultados obtenidos son los siguientes:

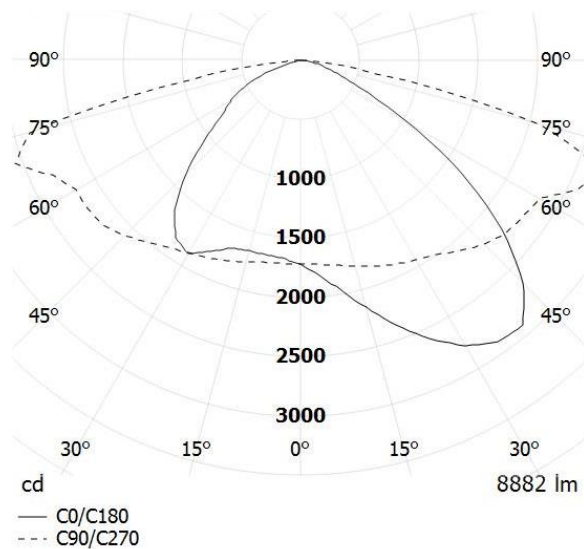


Figura 25 Fotometría implementada en la unión entre parqueaderos

La figura 20 muestra la fotometría de la luminaria empleada para la iluminación de esta calzada. De igual manera cuenta con una apertura amplia del direccionamiento de la luz, por ende, permite tener una mejor uniformidad sobre la vía, lo cual se puede apreciar en el plano 0-180°. Y gracias al direccionamiento de la luz en el plano 90-270° se ilumina solo la calzada correspondiente.

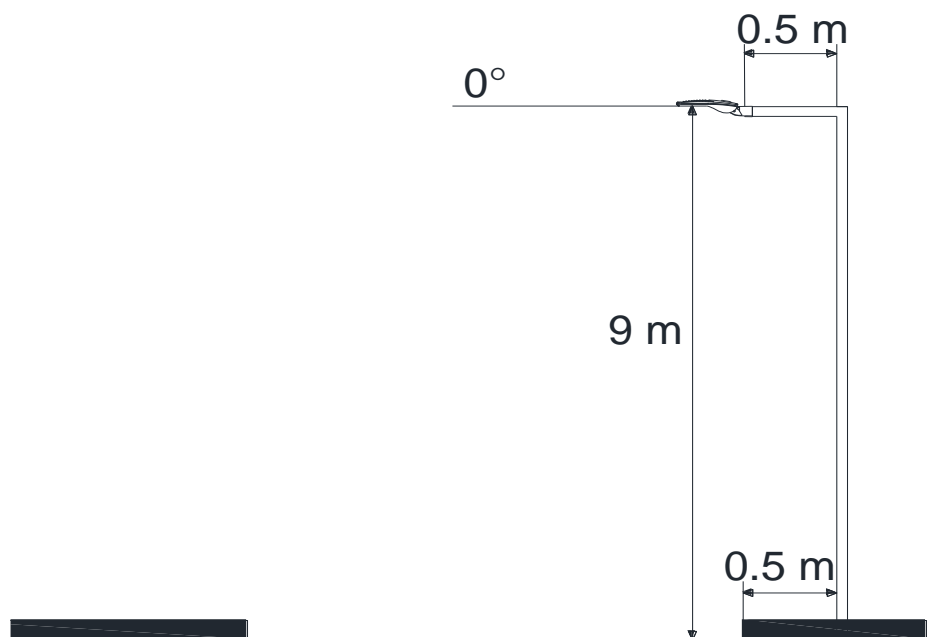


Figura 26 Tipo de montaje de la unión entre parqueaderos

La figura 25 muestra el tipo de montaje correspondiente a la calzada de unión entre parqueaderos, en la cual se visualiza la altura del punto de luz suspendida en el mástil. Su brazo tiene no tiene un valor de inclinación debido a que la luminaria empleada en esta vía no la necesita, ya que su fotometría brinda una dirección de luz que va directamente hacia la calzada, lo que garantiza una correcta visualización sobre la vía.

Para esta calzada, al tener no tener una acera peatonal, sino más bien que su calzada es directamente un área verde, se ha establecido que los mástiles sean posicionados directamente sobre la zona verde. Esto debido a que la implementación de los mástiles no afectará la circulación de los peatones y de ese modo permitirá alumbrar la calzada correspondiente.

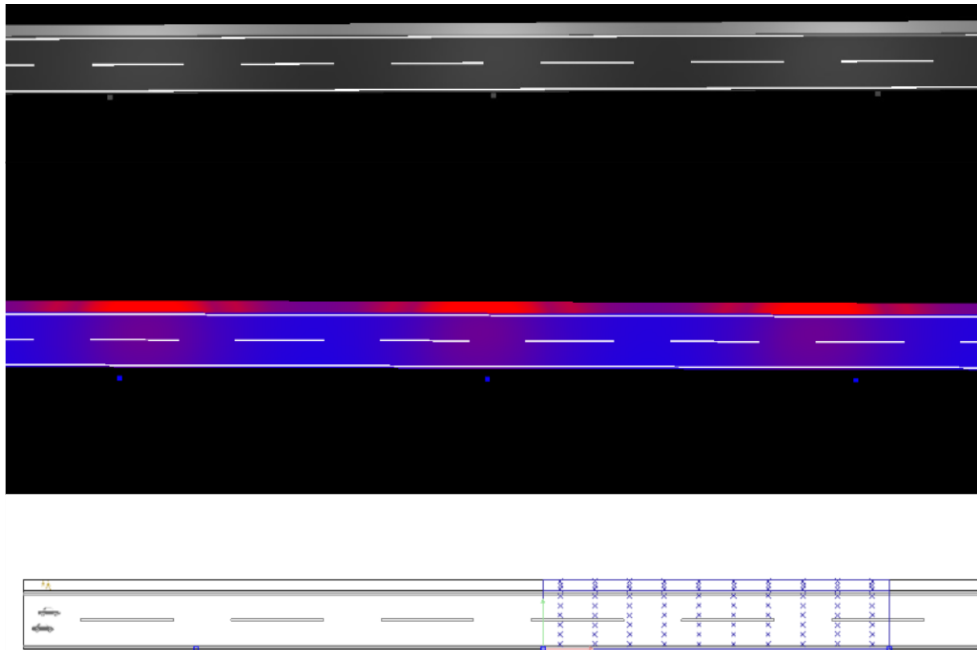


Figura 27 Resultados de la calzada de unión entre parqueaderos

La figura 21 es representación donde se muestra la calzada, con la zona en la que el software realiza los cálculos. Asimismo, se puede apreciar la iluminación tal cual se vería en la vía, en caso de ser implementado en la realidad. Además, se puede visualizar una uniformidad adecuada para la visibilidad sobre la calzada. Las aceras tienen un mayor índice de luz al estar a una altura superior de la vía, por ende, en los resultados se representa con un tono más rojizo que el resto de los demás.

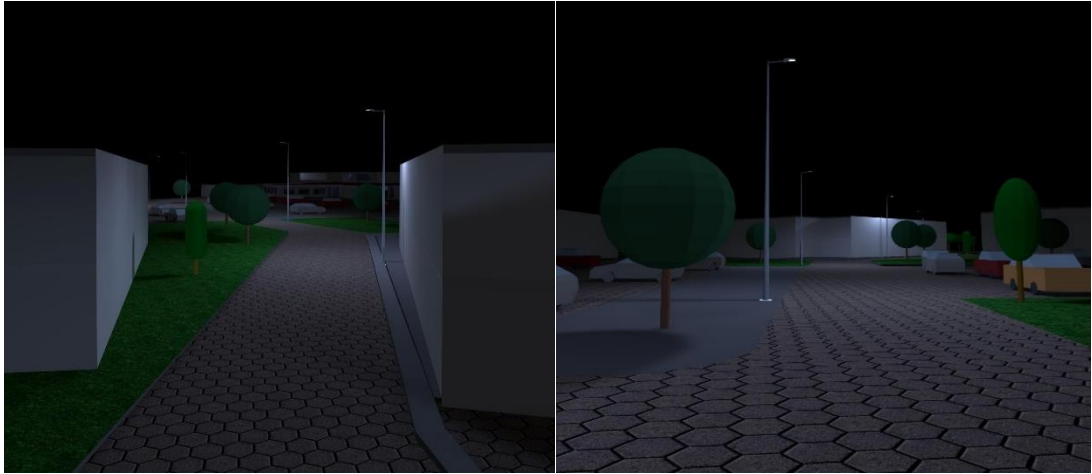


Figura 28 Simulación de la entrada de parqueaderos

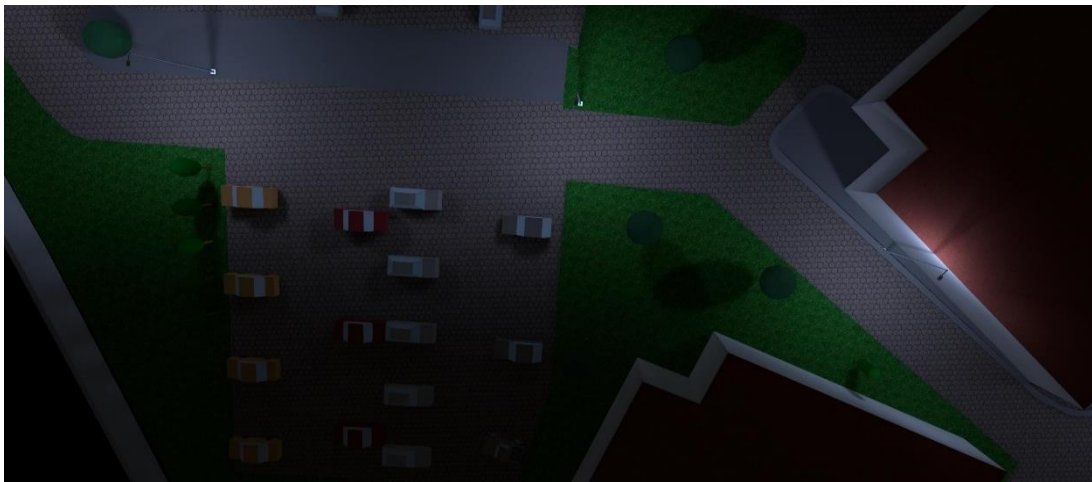


Figura 29 Simulación completa de la entrada de parqueaderos

La figura 27 y 28 es una apreciación similar a la implementación en la realidad del proyecto, en la cual se garantiza una correcta visibilidad al momento de circular en la vía. Se ha instalado tres mástiles en la cual se monta la luminaria con el propósito de iluminar correctamente la calzada.

Zona interna

La calzada correspondiente a la zona interna es la que conecta el parqueadero principal con la facultad de ingeniería automotriz, cuenta con una longitud de ciento treinta metros y un ancho de vía siete metros y medio. A continuación se muestran los resultados obtenidos:

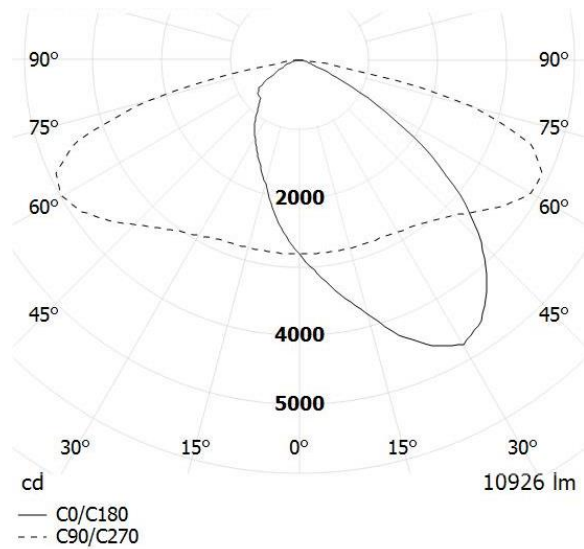


Figura 30 Fotometría implementada en la zona interna

La fotometría de la luminaria empleada para la iluminación de esta calzada se muestra en a figura 20. De igual forma, cuenta con una apertura amplia del direccionamiento de la luz, por ende, permite tener una mejor uniformidad sobre la vía, lo cual se puede apreciar en el plano 0-180°. Y gracias al direccionamiento de la luz en el plano 90-270° se ilumina solo la calzada correspondiente.

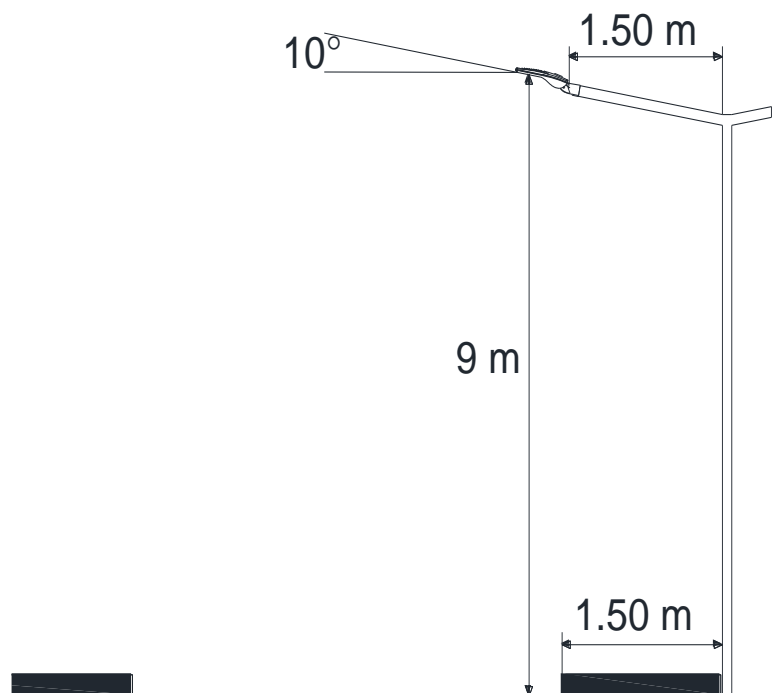


Figura 31 Tipo de montaje de la unión de la zona interna

En la figura 30 se aprecia la altura de montaje correspondiente a esta calzada, al igual que la distancia del brazo, su brazo tiene un valor de inclinación correspondiente a 10°, debido a que la luminaria empleada en esta vía tiene una fotometría en la cual es

recomendable una pequeña inclinación, para brindar una dirección de luz que vaya directamente hacia la calzada, lo que garantiza una correcta visualización sobre la vía.

Esta calzada, al tener una acera peatonal que ingresan por la entrada lateral, se ha establecido que los mástiles correspondientes a la iluminación sean posicionados fuera de la acera. Permitiendo la libre circulación entre los peatones sin obstáculos que dificulten la circulación, cumpliendo el objetivo de iluminar correctamente la calzada

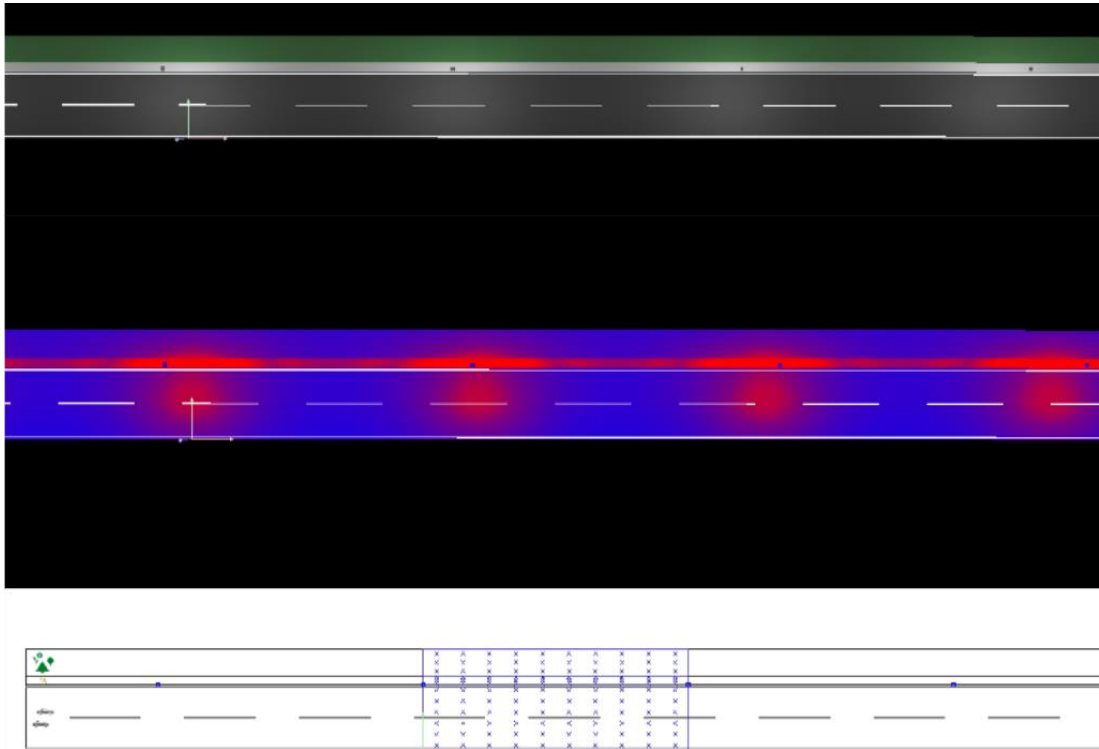


Figura 32 Resultados de la calzada del acceso interno

La figura 31 es representación en la cual se muestra la calzada, con la zona en la que el software realiza los cálculos. Esta calle al tratarse de la más ancha de entre todas, se ha implementado una luminaria con más potencia, por ende, se puede apreciar la iluminación tal cual se vería en la vía, en caso de ser implementado en la realidad. Además, se puede visualizar una uniformidad adecuada para la visibilidad sobre la calzada.

Esta calzada cuenta en un lado con una acera seguido del área verde, mientras que, al lado contrario, se tiene lo que corresponde a la zona de parqueaderos, los cuales serán evaluados posteriormente.

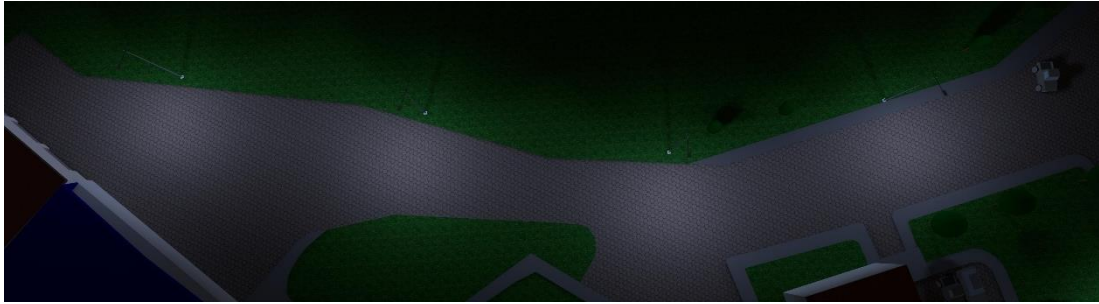


Figura 33 Simulación completa de la zona interna

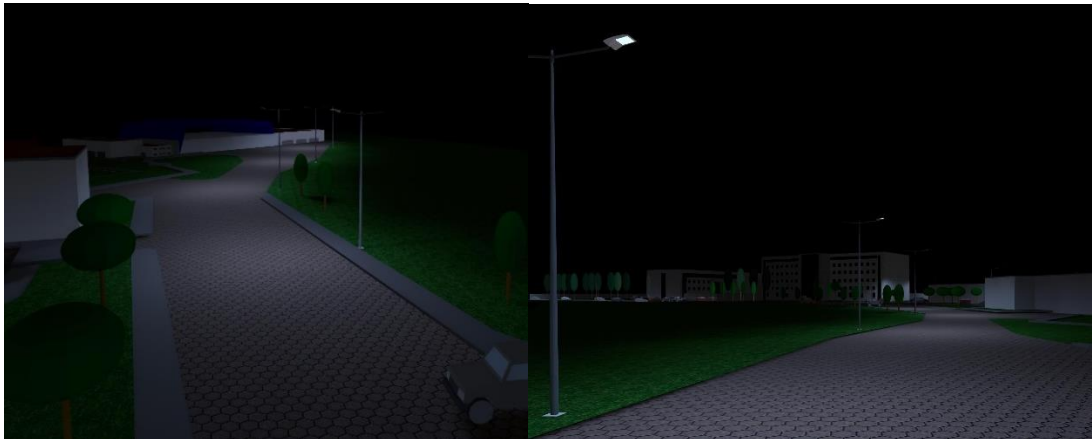


Figura 34 Simulación de la zona interna

La figura 32 y 33 es una apreciación similar a la implementación en la realidad del proyecto, en la cual se garantiza una correcta visibilidad al momento de circular en la vía. Se ha instalado cuatro mástiles en la cual se monta la luminaria con el propósito de iluminar correctamente la calzada. Estos mástiles de igual manera servirán para la implementación del alumbrado ornamental que se mostrará posteriormente.

4.1.1 RESULTADOS ALUMBRADO PÚBLICO

En el capítulo 3 previamente se determinó que todas las calzadas correspondientes a la clase M3, a continuación, se muestran los datos obtenidos de la simulación en las tablas 13, 14 y 15. Estos valores obtenidos cumplen con todos los parámetros solicitados en la normativa CIE-115 al igual que los parámetros de la distribuidora eléctrica local EEQSA.

CIE 115	L_m [cd/m²]	U0	UL	TI [%]	SR
Valor establecido	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.60	≤ 15	≥ 0.50
Entrada principal	1.02	0.60	0.78	9	0.83
Entrada lateral	1.07	0.55	0.72	8	0.69
Unión de parqueaderos	1.00	0.64	0.85	8	0.89
Zona interna	1.14	0.54	0.73	8	0.67

Tabla 13 Resultados en base a la normativa CIE-115

Los resultados que se obtuvieron de todas las calzadas cumplen con todos los parámetros establecidos por la normativa CIE-115. La característica de estos valores es que en la parte de luminancia (L_m) los resultados son muy ajustados al objetivo planteado por la norma, con el fin de utilizar la menor potencia instalada en luminarias. Con la reducción de energía destinada a alumbrado público, los costos de electricidad serán manejables por parte de la institución educativa.

El cumplimiento de las diferentes calzadas en los parámetros de la uniformidad media (U0) y uniformidad vertical (UL), supera los parámetros establecidos en las normativas. Por lo tanto, se establece que la uniformidad sobre la calzada tendrá un grado de uniformidad excelente, permitiendo la visualización de objetos por parte de los conductores de vehículos.

Por último, los niveles de relación de los alrededores (SR) y el deslumbramiento (TI) cumplen con los valores mínimos establecidos por las recomendaciones de la normativa. Lo cual garantiza que la luminaria no causará el efecto deslumbrante o de ceguera sobre los usuarios que transiten por estas vías.

EEQSA	L_m [cd/m²]	U0	TI [%]	SR
Valor establecido	≥ 1.00	≥ 0.40	≤ 10	≥ 0.50
Entrada principal	1.02	0.60	9	0.83
Entrada lateral	1.07	0.55	8	0.69
Unión de parqueaderos	1.00	0.64	8	0.89
Zona interna	1.14	0.54	8	0.67

Tabla 14 Resultados en base a la normativa EEQSA

Por otro lado, las calzadas del campus cumplen con los valores establecidas en las recomendaciones de la empresa distribuidora local (EEQSA). Con la peculiaridad que la uniformidad vertical (UL) donde no tiene un valor al cual referirse. A demás, el porcentaje de deslumbramiento permisible, tiene un valor referencial menor al establecido por la normativa internacional (CIE-115).

EEQSA	Altura de montaje [m]	Potencia luminaria [W]
Valor establecido	8 - 8,5	150
Entrada principal	9	75
Entrada lateral	9	75
Unión de parqueaderos	9	75
Zona interna	9	90

Tabla 15 Resultados en base a la normativa EEQSA

Como un dato adicional las recomendaciones de la EEQSA, establecen ciertas condiciones aplicadas a la potencia de la luminaria y altura de montaje de la misma. Las luminarias empleadas en estas calzadas no cumplen con el valor recomendado, porque al tratarse de una normativa del año 2015, los valores referenciados son para luminarias de vapor de sodio. Por tal motivo, al implementar tecnología LED, la potencia instalada de la lámpara evidentemente se verá reducida.

De igual manera, no se cumple con las recomendaciones de la altura de montaje, debido a que, al implementar las luminarias a esa posición sobre el piso, la uniformidad se ve afectada, causando un pequeño efecto cebra sobre la calzada. Además, al tratarse de un establecimiento privado, se puede tener la opción de ignorar la recomendación de altura para cumplir con los demás parámetros establecidos.

4.2 ALUMBRADO DE PARQUEADEROS

Los parqueaderos presentes dentro del campus universitario fueron delimitados y categorizados en el capítulo 3. Adicionalmente, también se cuenta con otros dos parqueaderos pequeños, dentro de la institución, mismos que no fueron delimitados, debido a su reducido espacio. A continuación, se presentan los resultados obtenidos de los parqueaderos de la institución educativa.

Todos los parqueaderos comparten las mismas luminarias con el propósito de no tener diferentes luminarias designadas a cada uno de los mismos. De igual manera comparten una misma altura del punto de luz con el fin de brindar resultados favorables que cumplan con todos los parámetros de las normativas.

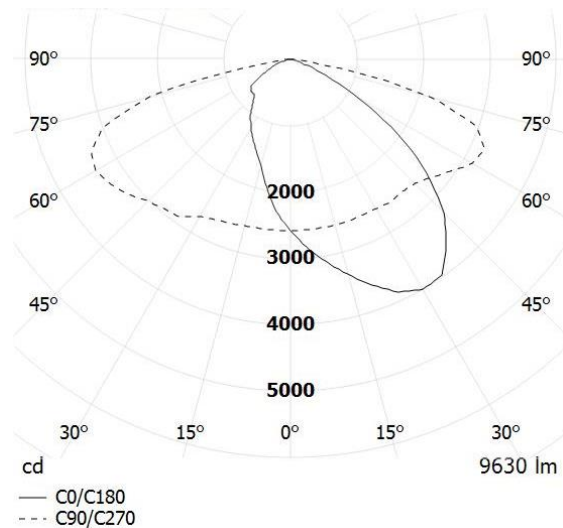


Figura 35 Fotometría de las luminarias de los parqueaderos

La fotometría implementada en los parqueaderos se puede apreciar en la figura 34. Fue escogido debido a su amplia cobertura de luz que ofrece, tal cual se la puede visualizar en el plano 0-180°. Además, que, si direccionamiento de su luz es directamente hacia delante de la luminaria, permitiendo iluminar solo lo requerido, de igual manera se puede visualizar el direccionamiento de la luz en el plano 90-270°.

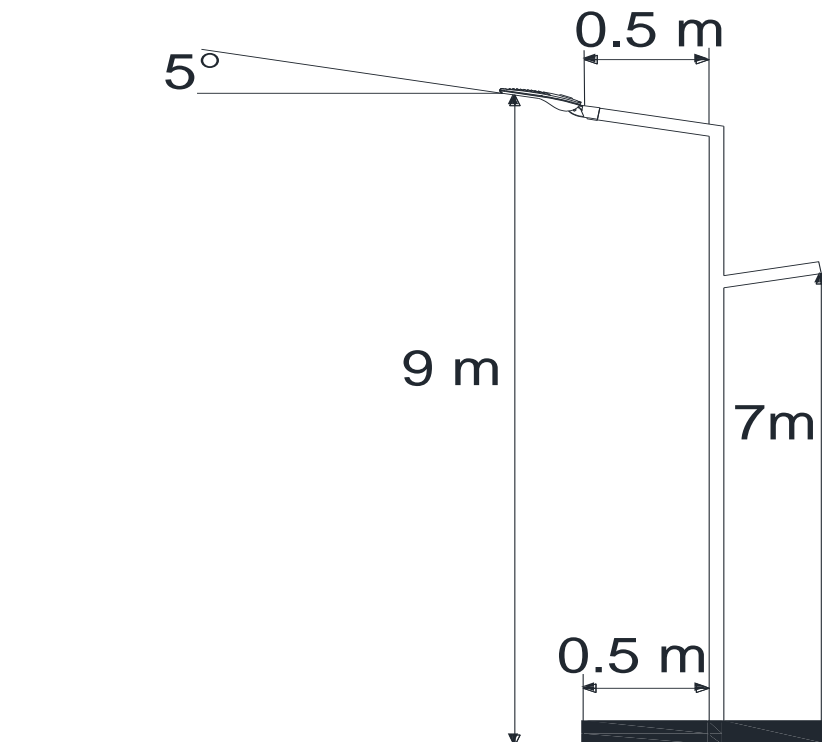


Figura 36 Tipo de montaje empleado en los parqueaderos

El tipo de montaje empleado en los parqueaderos tiene una altura de nueve metros tal como se lo puede apreciar en la figura 35. Los mástiles fueron colocados sobre las aceras, debido a que son aceras por no circulan los peatones, lo cual no afectara en

nada al tránsito de los mismos. Algunos mástiles empleados para la iluminación de parqueaderos sirven también para el alumbrado ornamental a diferente altura.

En algunos casos incluso la longitud del mástil varía a un metro y medio, debido a que el lugar de los parqueaderos el mástil se encuentra fuera de la acera, permitiendo la circulación de los peatones. Y en un parqueadero se utilizó la fachada de la institución para suspender el brazo en la cual se montará la luminaria, para lograr cumplir con los parámetros dictados en las normas

Parqueadero principal

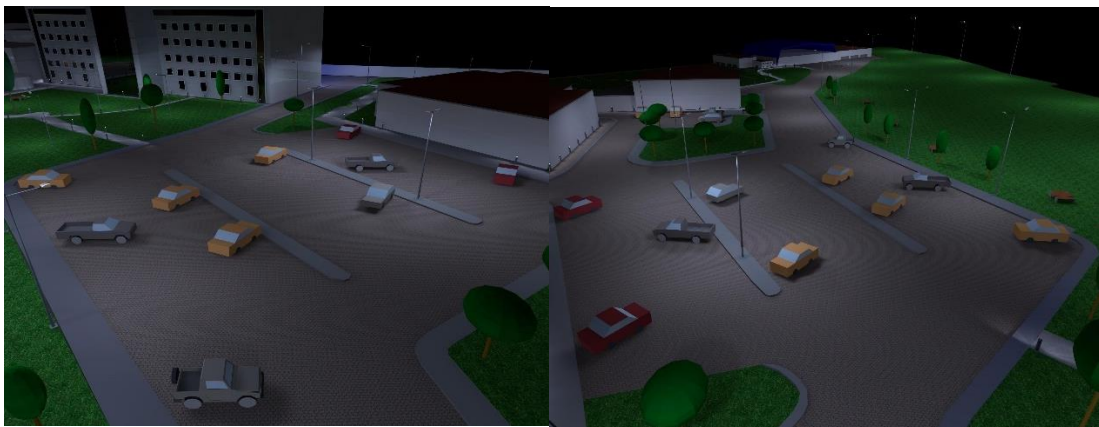


Figura 37 Simulación del parqueadero principal

La figura 36 muestra una simulación del parqueadero principal tal cual se vería en la realidad. Además, se puede visualizar que la posición de los mástiles del alumbrado no interfieren en la circulación de los autos y mucho menos en la de las personas, cumpliendo su único objetivo de iluminar la zona de parqueaderos.

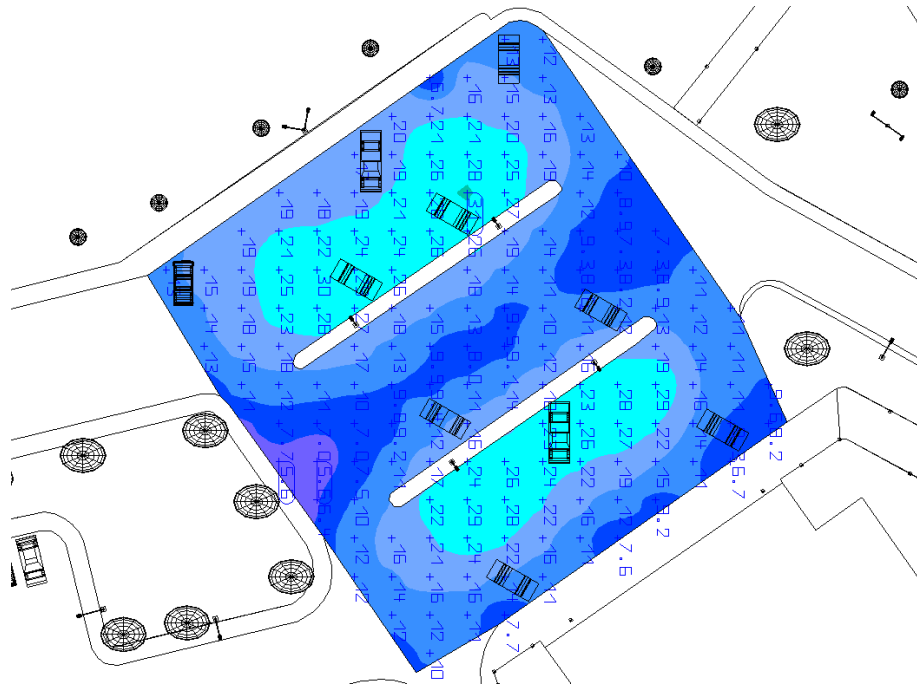


Figura 38 Resultados luminotécnicos del parqueadero principal

Los resultados de luminotécnicos del parqueadero se los puede visualizar en la figura 37. Se ha logrado tener la mayor uniformidad posible en toda al área que corresponde al parqueadero. Además, se puede apreciar una mayor intensidad de luz de bajo de cada luminaria, lo cual es permisible debido a que su un valor de intensidad lumínica no es exagerado.

Parqueadero lateral



Figura 39 Simulación del parqueadero lateral

La implantación en la realidad del sistema de alumbrado se lo aprecia de mejor manera en la figura 38. En este parqueadero se ha implementado mástiles sobre las fachadas de la institución, debido a que el parqueadero cuenta con una are amplia que se requiere

iluminar. Ciertas zonas requerían de mayor iluminación para no generar sombras a los usuarios al momento de tener el punto de luz de un solo lado.

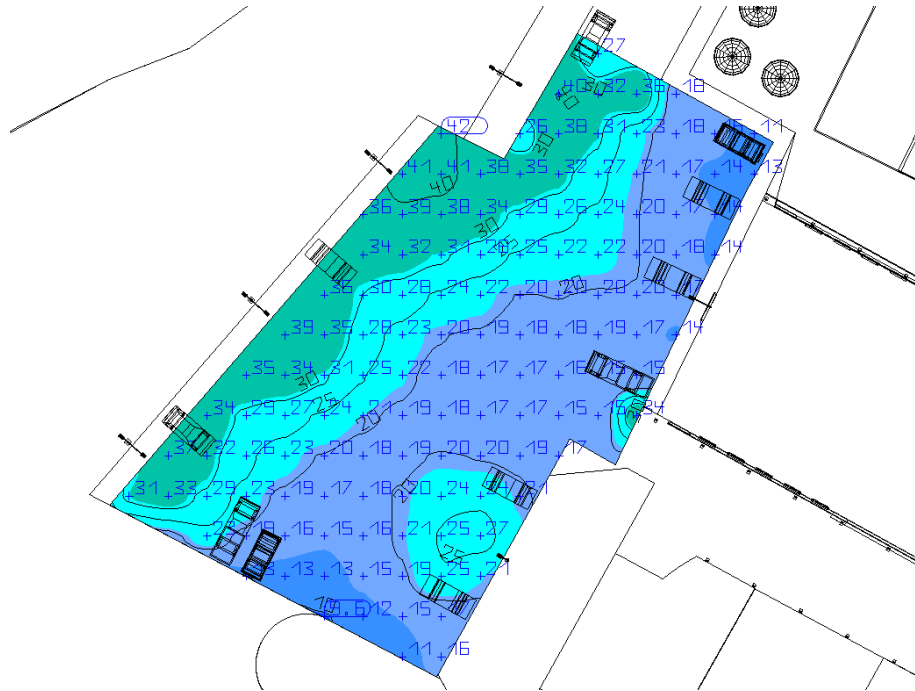


Figura 40 Resultados luminotécnicos del parqueadero lateral

La figura 37 muestra los resultados de luminotécnicos del parqueadero lateral. Los mástiles que se implementaron sobre las fachadas de la institución ayudan a mejorar la uniformidad sobre el parqueadero, evitando las zonas oscuras y las sombras provocadas al momento de tener las luminarias de un solo lado del parqueadero.

Parqueadero general

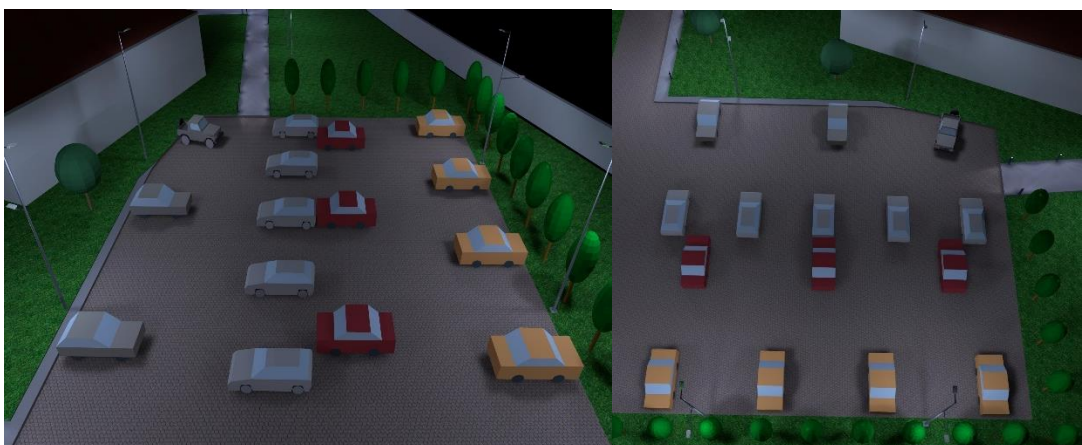


Figura 41 Simulación del parqueadero general

En la figura 40 se puede apreciar una simulación del sistema de alumbrado implementado en la realidad. En este parqueadero se ha implementado mástiles que

comparten el alumbrado de parqueaderos, con el alumbrado ornamental de las áreas verdes, evitando el uso de nuevos mástiles.

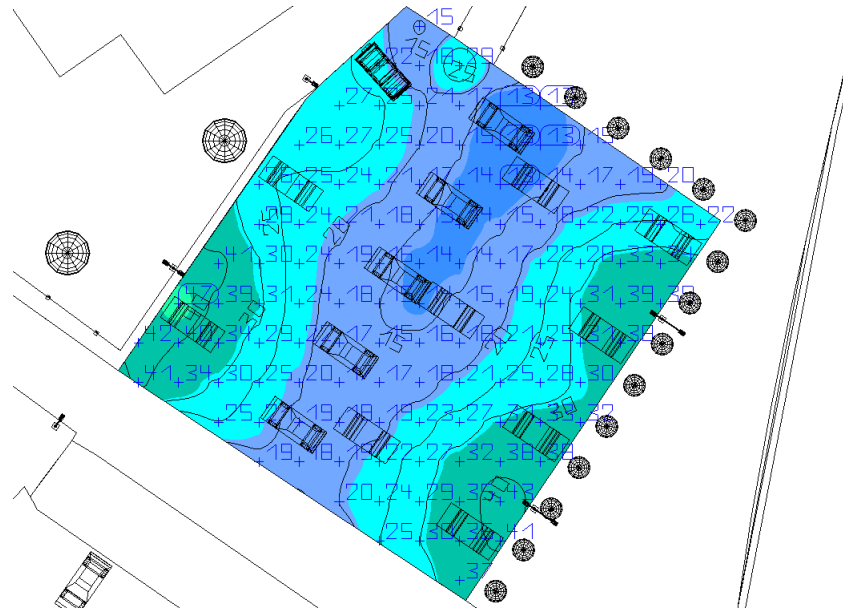


Figura 42 Resultados luminotécnicos del parqueadero general

Los resultados luminotécnicos del parqueadero general se los puede visualizar en la figura 41. Donde se ha logrado obtener una uniformidad sobre el área del parqueadero, garantizando una buena visibilidad para los usuarios que transiten en ella. Los mástiles son implementados en la parte periférica del parqueadero, ya que no interfiere en lo absoluto la circulación de los autos y de los peatones.

Resto de parqueaderos.

Este apartado corresponde a dos parqueaderos que por su área pequeña no se los ha mencionado a la par con los principales. Pese a su reducido espacio de igual manera debe cumplir con los parámetros de iluminación requeridos por la normativa.



Figura 43 Simulación del resto de parqueaderos

La simulación de la implementación del sistema de iluminación del resto de los dos parqueaderos se los puede visualizar en la figura 42. Para lograr la iluminación requerida se ha implementado un mástil por cada uno de los parqueaderos, que se ha sido posicionado atrás de la acera, permitiendo la libre circulación de las personas evitando obstáculos en su camino.

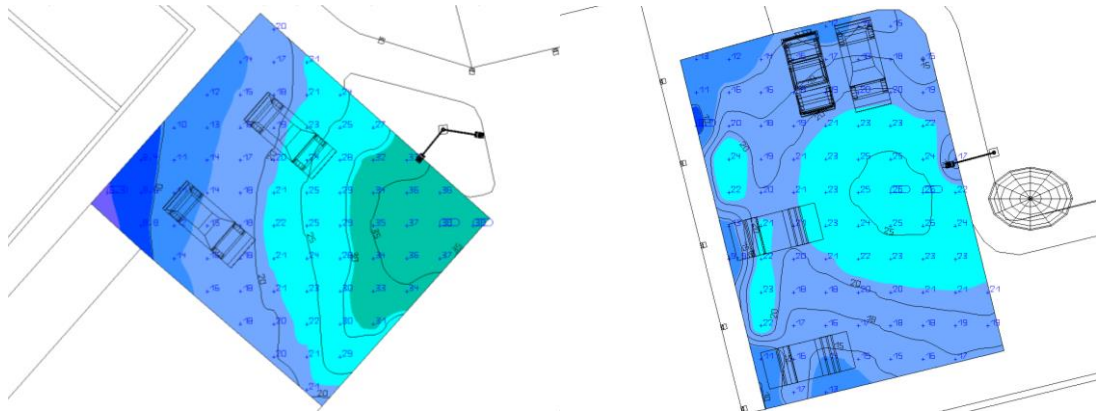


Figura 44 Resultados luminotécnicos del resto de parqueaderos

Los resultados luminotécnicos del resto de parqueaderos se los puede visualizar en la figura 41. Donde se ha logrado obtener una uniformidad sobre el área del parqueadero, la intensidad de flujo luminoso sobre el suelo bajo el punto de luz se debe a que, al ser un área pequeña, con un solo una luminaria para cubrir con los parámetros establecidos en las normativas.

4.2.1 RESULTADOS DE LA ILUMINACIÓN DE PARQUEADEROS

Previamente, en el capítulo 3 se determinó que todos los parqueaderos corresponden a la misma categoría al estar dentro del campus universitario. A continuación, se muestran los datos obtenidos de la simulación en la tabla 16. Estos valores obtenidos cumplen con todos los parámetros solicitados en la normativa europea “The Lighting Handbook”.

TLH Valor establecido	E_m [lux] ≥ 20	Reproducción Cromática [R_a] ≥ 20
P. Principal	20	No especificado
P. Lateral	23	No especificado
P. General	24	No especificado
Resto de P	22	No especificado
	20	No especificado

Tabla 16 Resultados de los parqueaderos

Los resultados obtenidos de todos los parqueaderos cumplen con todos los parámetros establecidos por la normativa “The Lighting Handbook”. De igual manera la característica de estos valores pertenecientes a iluminancia (E_m) es que no se sobrepasa por mucho el valor establecido por la normativa, esto con el objetivo de emplear menos luminarias y reducir la potencia de las mismas.

El límite inferior para la reproducción cromática (R_a) es un valor que se obtiene directamente de la hoja de datos de las luminarias. Las luminarias implementadas en los parqueaderos no poseen este dato debido que al tratarse de tecnología LED este valor es despreciado por la mayoría de fabricantes.

Al tratarse de parqueaderos no existe normativa por parte de la distribuidora eléctrica local, en consecuencia, no existe límites permisibles de uniformidad ni del deslumbramiento. Debido a que los parqueaderos no pertenecen al sector público, sino son más enfocados al sector privado, por tal motivo quedan a criterio propio de cada dueño el nivel y la calidad de iluminación.

4.3 ALUMBRADO ORNAMENTAL

El alumbrado ornamental juega un papel fundamental en la parte de visibilidad nocturna, para el ámbito de vigilancia y seguridad en la noche. Para la evaluación de las áreas verdes, caminos y la parte decorativa se estableció sus categorías en el capítulo 3. A continuación se presentan los resultados obtenidos de las diferentes áreas de la institución educativa.

4.3.1 ÁREAS VERDES

Las áreas verdes del campus universitario corresponden a un área muy extensa, razón la cual se ha implementado una combinación de luminarias, con el fin de proporcionar una iluminación suficiente para la vigilancia y seguridad nocturna. Adicionalmente también se cuenta con zonas recreativas, por tal motivo su iluminación es notoriamente más elevada en comparación con las demás áreas verdes.

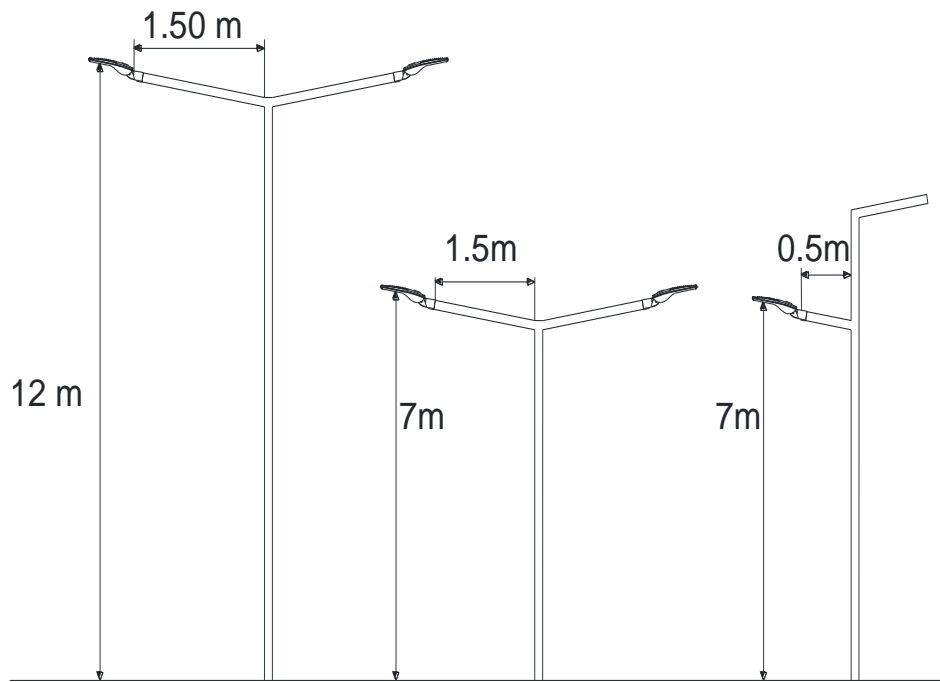


Figura 45 Tipo de montaje de las áreas verdes

Las combinaciones diferentes de los brazos de los mástiles del alumbrado ornamental enfocado en las zonas verdes, se los puede visualizar en la figura 44. Se ha usado diferentes maneras de montar los brazos de las luminarias, en la mayoría sea tratado de utilizar los mismos mástiles del alumbrado público y de parqueaderos evitando la implementación de nuevos mástiles.

Área verde lateral

El área verde lateral corresponde a la zona más extensa de todo el campus, en donde se requiere iluminación para temas de vigilancia y seguridad. Mientras que en las zonas periféricas del campus se ha tenido que colocar mástiles con una longitud mayor a la del resto, con el fin de colocar luminarias de más potencia para que se logre cubrir una mayor área. Evitando llenar de mástiles las áreas verdes, generando un aprovechamiento de las zonas recreativas.

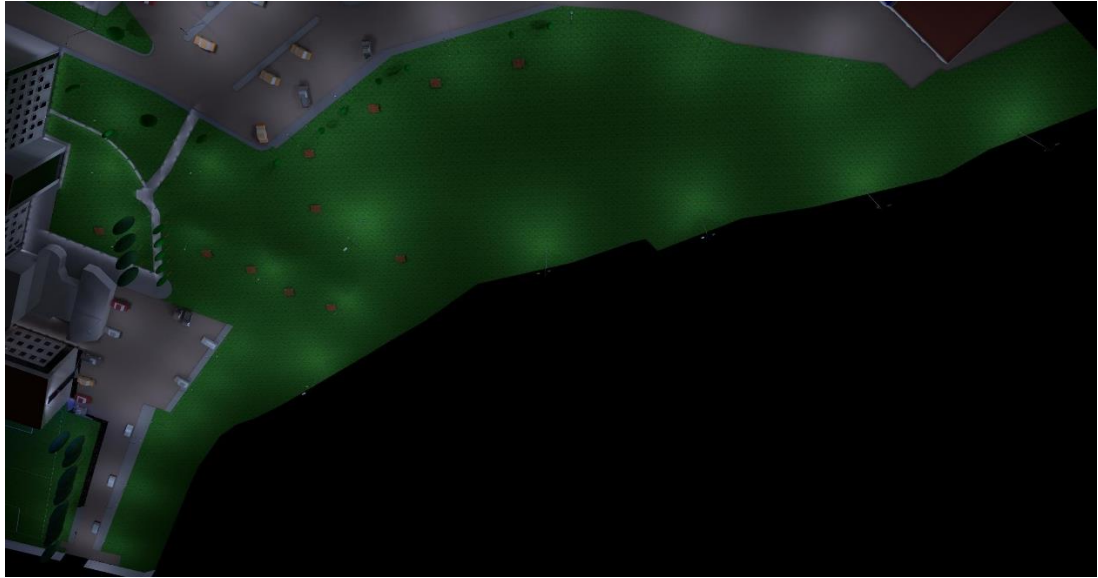


Figura 46 Simulación completa del área verde lateral

La implantación en la realidad del sistema de alumbrado se lo aprecia de mejor manera en la figura 45. Las zonas con mayor índice de iluminación predominan en las periferias del área verde, en donde se necesita mayor iluminación para el ámbito de seguridad y vigilancia nocturna. Mientras que la zona central cuenta con una iluminación suficiente para los usuarios.

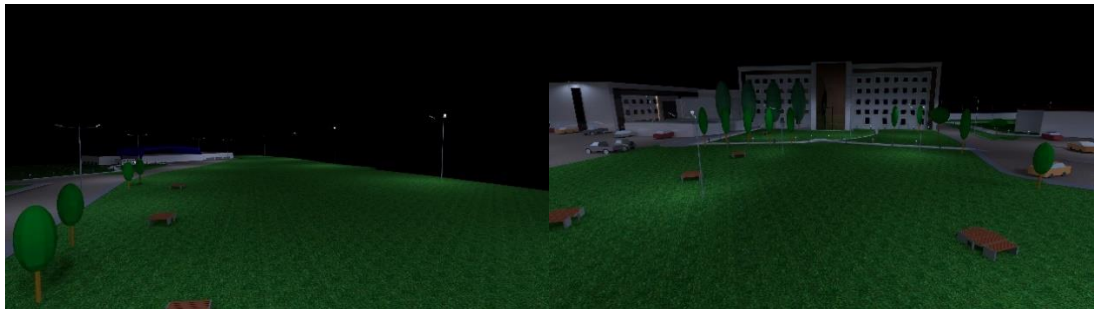


Figura 47 Simulación del área verde lateral

La simulación de las zonas recreativas para la comunidad universitaria se las puede apreciar en la figura 46. Estos espacios requieren de una mayor iluminación, puesto que son áreas donde los estudiantes realizan ciertas actividades nocturnas y por ende se necesita más luz en comparación del resto.

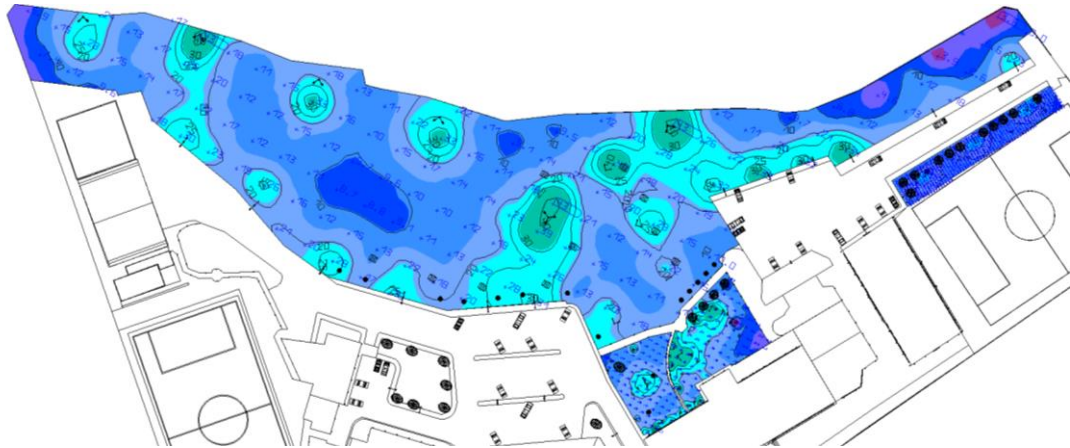


Figura 48 Resultados luminotécnicos del área verde lateral

Los resultados luminotécnicos del área verde lateral se los aprecia en la figura 47. Donde se ha logrado obtener una uniformidad sobre toda el área verde, la iluminación para el área no debe ser tan excesiva, debido a que solo cumple la función de permitir la vigilancia y seguridad nocturna. Por otro lado, las partes recreativas destinadas a los estudiantes tienen un mayor índice de iluminación puesto que está destinado a la ejecución de actividades nocturnas.

Resto de áreas verdes

Las áreas verdes restantes son las áreas que se encuentran en la parte posterior del campus donde solo se requiere iluminación para vigilancia nocturna. Mientras que la otra área se encuentra al costado de la institución, en donde se necesita iluminación para las zonas de recreación asignada para la comunidad universitaria.

De igual manera, se ha intentado aprovechar los postes existentes destinados al alumbrado público y de parqueaderos para que sean aprovechados al máximo y poder usarlos para el alumbrado ornamental de las áreas verdes.

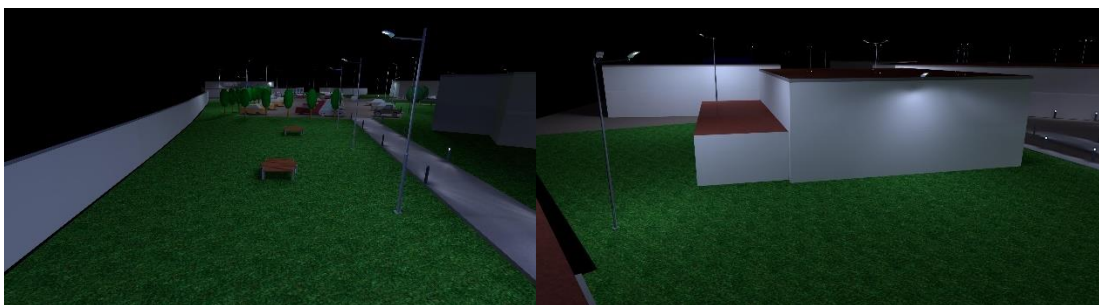


Figura 49 Simulación de las áreas verdes restantes

La figura 45 muestra una simulación de cómo sería la implantación en la realidad del sistema de alumbrado para las áreas verdes restantes. En el área verde posterior se ha

tenido que implementar una luminaria sobre la fachada, evitando el uso de los postes sobre el terreno de la institución.

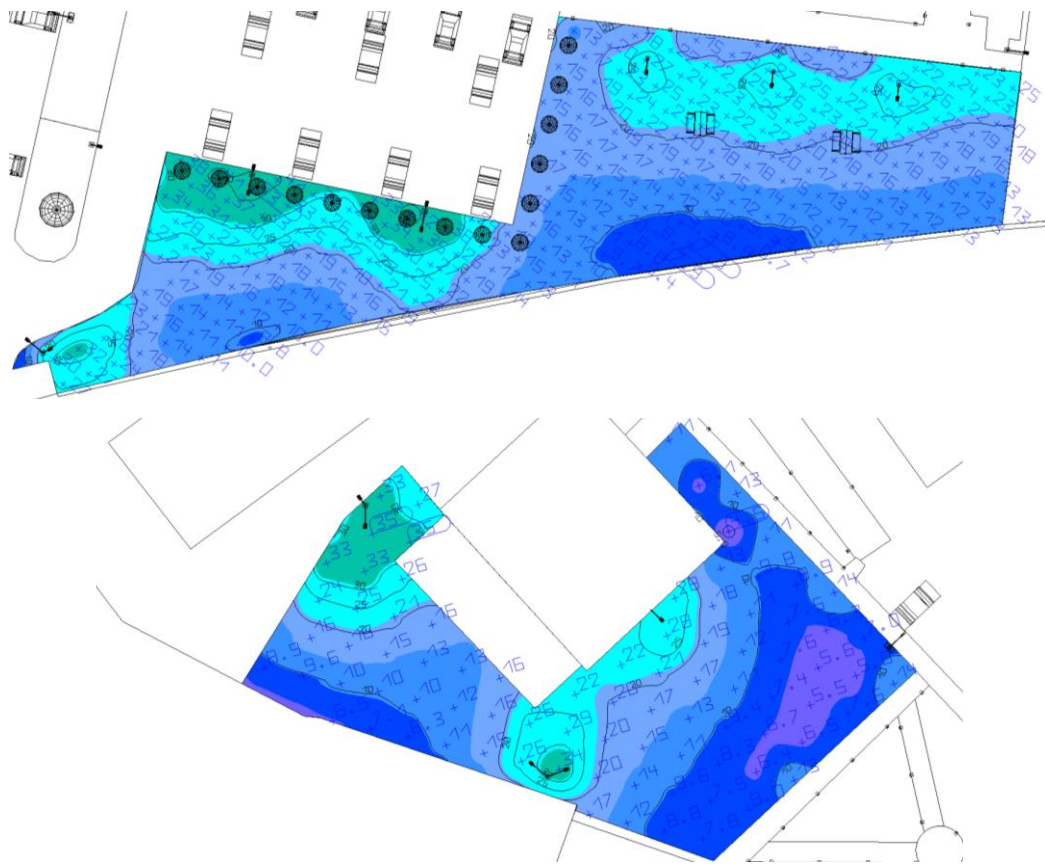


Figura 50 Resultados luminotécnicos del resto de áreas verdes

La figura 49 muestra los resultados luminotécnicos de las áreas verdes restantes. En las cuales se ha logrado obtener una uniformidad agradable hacia el ojo humano, se puede apreciar la intensidad de iluminación en el área destinada para la recreación de la comunidad universitaria, mientras que en la zona posterior la iluminación es más que suficiente para cumplir con los parámetros de seguridad y vigilancia nocturna.

Resultados de áreas verdes

Las áreas verdes no requieren de una iluminación abundante normada por algún ente regulatorio, debido a que no es necesario iluminar las superficies de vegetación puesto que altera el desarrollo de las plantas. Por otro lado, es necesario tener un nivel mínimo de iluminación para el ámbito de seguridad y vigilancia nocturna. En el capítulo 3 se determinó el nivel de riesgo que tienen las áreas verdes del campus, el exige un nivel mínimo de iluminación.

ITC	E_m [lux]
Valor establecido	≥ 10

A.V. lateral	18
A.V. interna	19
A.V. posterior	15

Tabla 17 Resultado de las áreas verdes

La tabla 17 muestra el cumplimiento correcto de todas las áreas verdes con los parámetros establecidos por la normativa europea ITC-EA. Los valores de iluminancia media (E_m) superan el valor mínimo recomendado por la normativa, lo que asegura una correcta iluminación para el ámbito de seguridad y vigilancia nocturna.

Al tratarse de las áreas verdes, no existe normativa por parte de la distribuidora eléctrica local, por tal motivo, no existe límites permisibles del resto de factores, tales como la uniformidad y índice de deslumbramiento.

4.3.3 SENDEROS, CAMINOS Y ESCALERAS

Los caminos o senderos, al igual que las escaleras están presentes en todo el campus universitario, sirven de unión entre los parqueaderos con las facultades y otras áreas de recreación. En el capítulo 3 se estableció la categorización de todos los senderos, caminos y escaleras de la institución, debido a sus características propias, englobándolos en una misma categoría a todos.

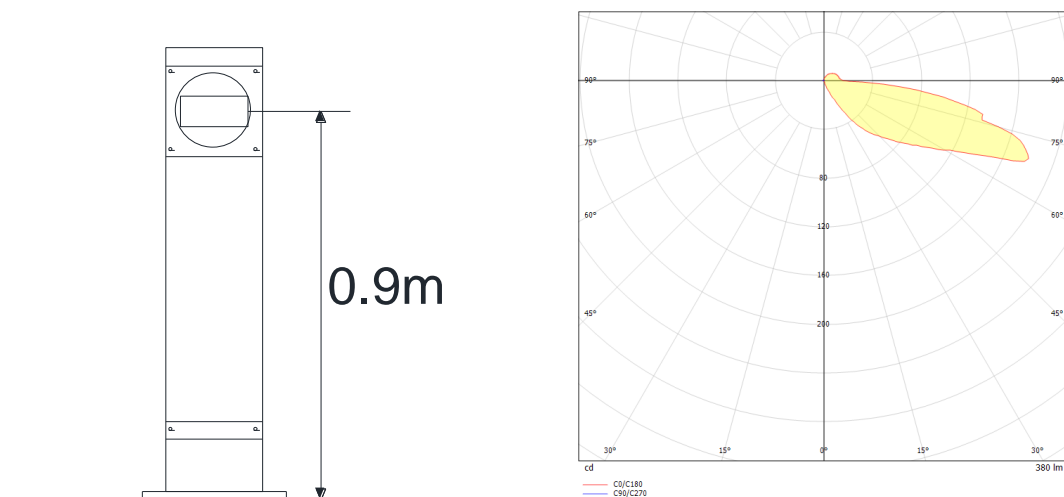


Figura 51 Luminaria empleada para caminos y escaleras

La luminaria empleada en los caminos, senderos y escaleras se los visualiza en la figura 50. Se ha seleccionado este tipo de luminaria debido a que ofrece una luz directamente al ras del suelo, logrando una iluminación estrictamente sobre la superficie del suelo, evitando la dispersión de la luz por los alrededores, contribuyendo a la disminución de la contaminación lumínica.



Figura 52 Simulación de los aminos y senderos

La simulación de la implementación del sistema de iluminación de los caminos y senderos se los puede visualizar en la figura 51. Además de brindar un espacio correctamente iluminado para el tránsito de las personas, se ha logrado también generar un ambiente agradable hacia a vista de los usuarios, dando un aspecto mucho más estético que resalte.

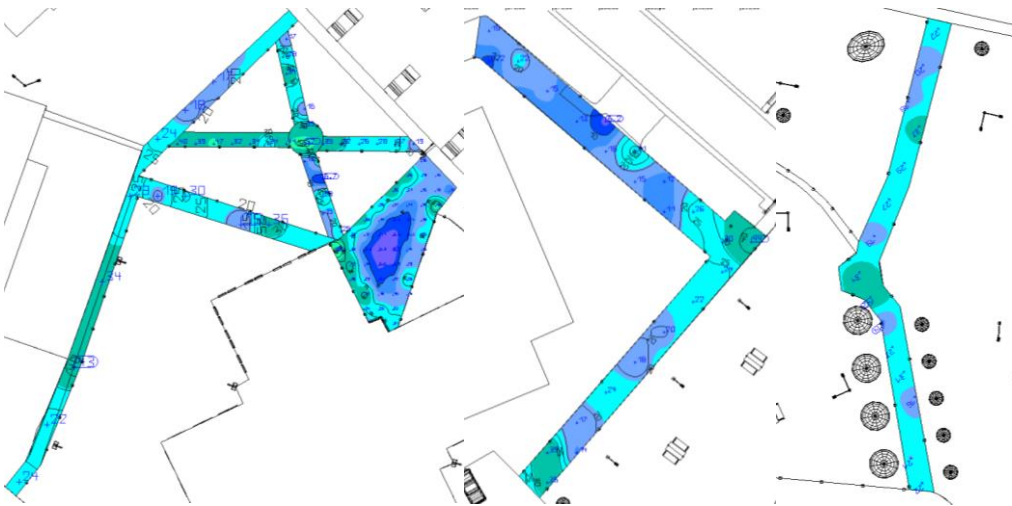


Figura 53 Resultados luminotécnicos de caminos y senderos.

La figura 52 muestra los resultados luminotécnicos de los caminos y senderos del campus universitario. Se ha logrado tener una uniformidad correcta en todos los caminos y senderos de la institución, brindando una correcta visibilidad de los usuarios al momento de transitar sobre ellos.

Resultados de caminos, senderos y escaleras

Los caminos, senderos y escaleras requieren obligatoriamente de un nivel de iluminación dictado por diferentes entes regulatorios. Todos los caminos y gradas han sido catalogados bajos la normativa CIE-115, clasificándolos a todos dentro de la misma categoría, debido a que se encuentran dentro de un campus universitario.

CIE-115	E_m (lux)	E_{min} (lux)
Valor establecido	≥10	≥5
Camino 1	21	6.37
Camino 2	21	5.51
Camino 3	21	5.44
Camino 4	11	5.31
Camino 5	29	7.34
Camino 6	26	8.69
Camino 7	25	6.58

Tabla 18 Resultados de caminos y senderos

Los valores obtenidos tras la simulación de los senderos y caminos se los muestra en la tabla 18. En donde se supera los valores mínimos establecidos por las normativas lo cual garantiza una correcta visibilidad para los usuarios que transiten sobre ellas. Con este tipo de luminarias se ha logrado cumplir con parámetros establecidos y a su vez cumplir con la reducción de contaminación lumínica, debido a que la luz esta direccionada hacia el suelo, lo cual produce la dispersión de luz excesiva.

Por otra parte, las escaleras y gradas se encuentran entre los caminos y senderos, la institución educativa cuenta con 3 gradas que están iluminadas gracias a la combinación del alumbrado público y el alumbrado de los caminos, lo cual asegura una visibilidad correcta al momento de circular sobre ellas.

4.3.4 ALUMBRADO DECORATIVO

El alumbrado decorativo hace referencia a resaltar las fachadas de la institución educativa, logrando la atracción visual del público en general, con lo cual se logra un ambiente estético y agradable. Para la iluminación ornamental se debe cumplir con ciertos parámetros establecidos por normas europeas. Debido a que los materiales de las fachadas no corresponden a ningún acabado que especifique la normativa, su decoración queda a libre criterio del autor.



Figura 54 Simulación del edificio principal

La figura 53 muestra la implementación del sistema de alumbrado decorativo del edificio principal del campus. Se ha conseguido decorar la fachada con los colores emblemáticos de la institución con luminarias que dirigen su luz estrictamente hacia su objetivo, evitando la contaminación visual.

De igual manera el otro edificio que se decoró con luz comparte el mismo diseño arquitectónico que el principal. El sistema de alumbrado decorativo se muestra en la figura 54. En donde se ha obtenido una decoración llamativa, que resalte ante el público general y que brinde un aspecto estético dentro del campus universitario.



Figura 55 Simulación del edificio lateral

Adicionalmente se ha iluminado también los caminos de las aceras alrededor de todas las facultades del campus universitario. Brindando una iluminación que permita la visualización sobre las aceras y además genere un ambiente llamativo que resalte ante la vista de la comunidad universitaria.

4.3 SOLICITUD DE LA INSTITUCIÓN

La institución educativa ha solicitado que la facultad de ingeniería eléctrica tenga un sistema de iluminación alimentada por energía solar fotovoltaica. Las áreas a iluminar

corresponden a un parqueadero y a toda el área verde que rodea la facultad, mismos que fueron catalogados anteriormente en el capítulo 3 y comparten las mismas categorías del resto del parqueaderos y áreas verdes respectivamente

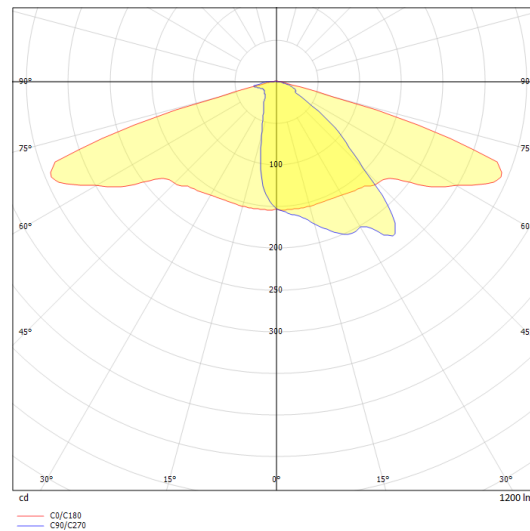


Figura 56 Fotometría fotovoltaica

La fotometría de las luminarias implementadas en el área verde y el parqueadero se la puede visualizar en la figura 55. Fue escogida debido a su amplia cobertura de luz que ofrece, tal cual se la puede visualizar en el plano 0-180°. Además, que, si direccionamiento de su luz es directamente hacia delante de la luminaria, permitiendo iluminar solo lo requerido, de igual manera se puede visualizar el direccionamiento de la luz en el plano 90-270°.

Parqueadero

El parqueadero correspondiente a la facultad solicitada, esta categorizado dentro del mismo grupo de iluminación perteneciente al resto de parqueaderos existentes del campus universitario. El montaje respectivo del sistema de iluminación se lo puede apreciar en la figura 35, mismo que es utilizado para todos los parqueaderos.



Figura 57 Simulación del parqueadero solicitado

La simulación del sistema de iluminación con energía fotovoltaica del parqueadero se lo puede visualizar en la figura 56. Además de brindar un espacio correctamente iluminado se ha logrado tener un área completamente autosustentable, al no consumir energía eléctrica de la red. Adicionalmente es un espacio novedoso y estético al tener los mástiles con paneles solares, captando la atención de los usuarios.

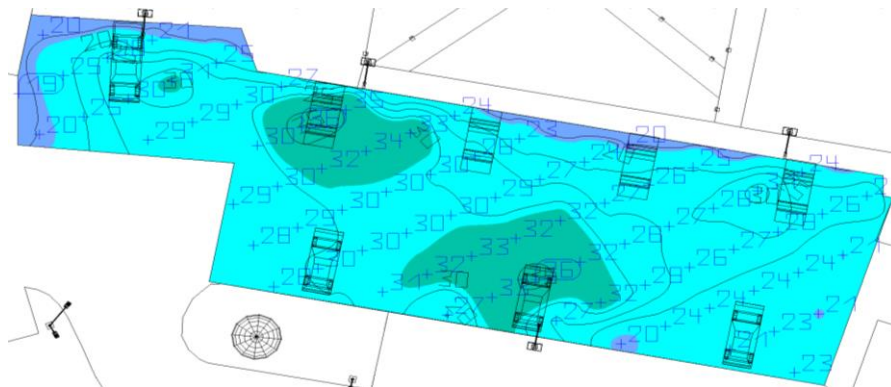


Figura 58 Resultados luminotécnicos del parqueadero solicitado

La figura 57 muestra los resultados luminotécnicos del parqueadero iluminado por tecnología fotovoltaica. De igual manera se ha tratado de tener una uniformidad a lo largo de toda el área correspondiente al parqueadero, garantizando una correcta visibilidad de los usuarios al momento de transitar sobre ellas.

TLH	E_m [lux]	Ra
Valor establecido	≥ 10	≥ 20
P. Solicitado	20	No especificado

Tabla 19 Resultado del parqueadero solicitado

Los resultados obtenidos del parqueadero cumplen con todos los parámetros establecidos por la normativa “The Lighting Handbook”. De igual manera el valor perteneciente a iluminancia (E_m) no sobrepasa por mucho el valor establecido por la

normativa, esto con el objetivo de emplear menos luminarias y reducir la potencia de las mismas.

El límite inferior para la reproducción cromática (R_a) es un valor que se obtiene directamente de la hoja de datos de las luminarias. Las luminarias implementadas en los parqueaderos no poseen este dato debido que al tratarse de tecnología LED este valor es despreciado por la mayoría de fabricantes.

Área verde

El área verde correspondiente a la facultad solicitada, esta categorizado dentro del mismo grupo de iluminación perteneciente al resto de áreas verdes existentes dentro del campus universitario. El montaje respectivo del sistema de iluminación se lo puede apreciar en la figura 44, mismo que es utilizado para todas las áreas verdes.



Figura 59 Simulación del área verde solicitada

La simulación del sistema de iluminación con energía fotovoltaica del área verde se lo puede visualizar en la figura 58. Además de brindar un espacio correctamente iluminado se ha logrado tener un área completamente autosustentable, al no consumir energía eléctrica de la red. Adicionalmente es un espacio novedoso y estético al tener los mástiles con paneles solares, captando la atención de los usuarios.

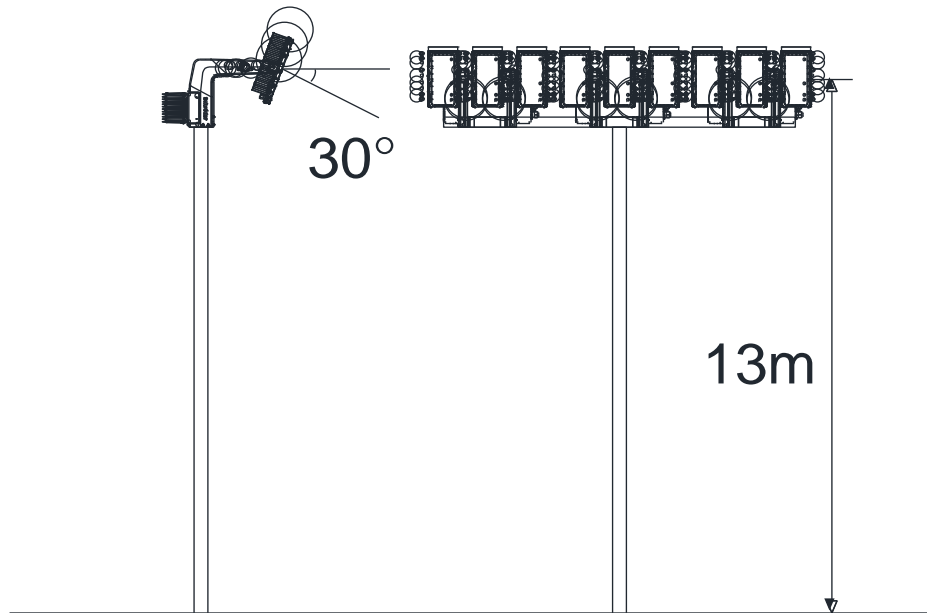


Figura 61 Tipo de montaje de las canchas

La altura de montaje, al igual que la distancia del brazo se aprecia en la figura 60, el grado de inclinación del brazo tiene un valor correspondiente a 30° debido a que las luminarias de este tipo tienen que apuntar hacia el suelo, ya que la disposición de la luz va directa hacia la superficie, lo que garantiza una correcta visualización sobre las canchas deportivas para las diferentes actividades.

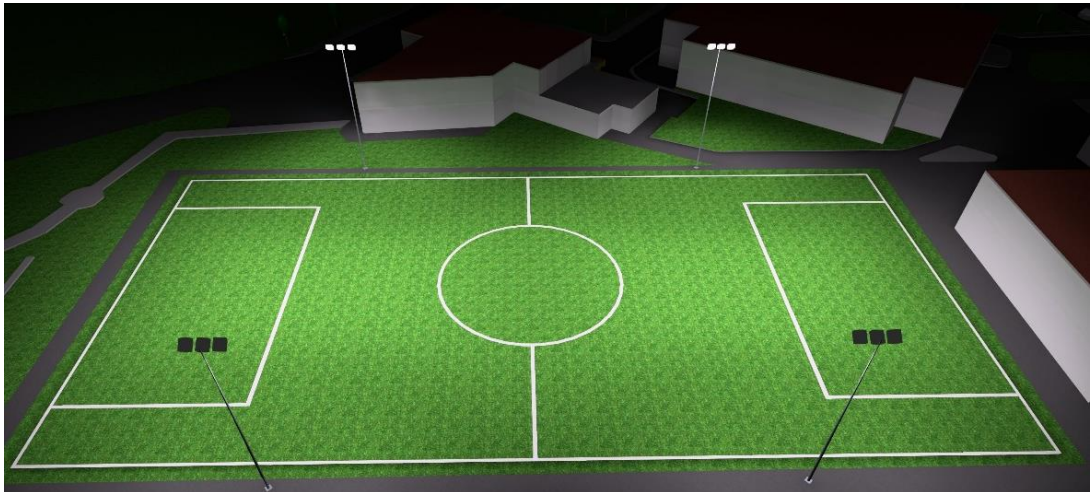


Figura 62 Simulación de la cancha principal



Figura 63 Simulación de la cancha general

La figura 61 y 62 muestra una apreciación similar a la implementación en la realidad del proyecto, en la cual se garantiza una correcta visibilidad al momento de realizar las actividades deportivas nocturnas. Se ha instalado cuatro mástiles en la cual se montan las luminarias alrededor de las canchas con el propósito de iluminar correctamente el área deportiva.

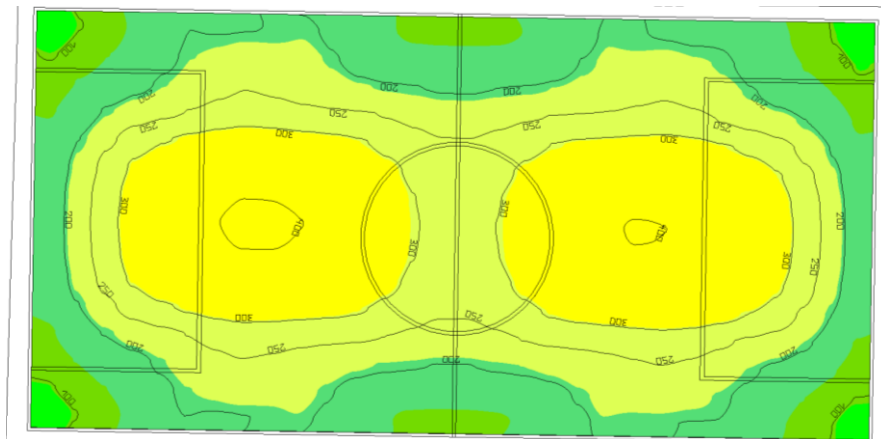


Figura 64 Resultados luminotécnicos de la cancha principal

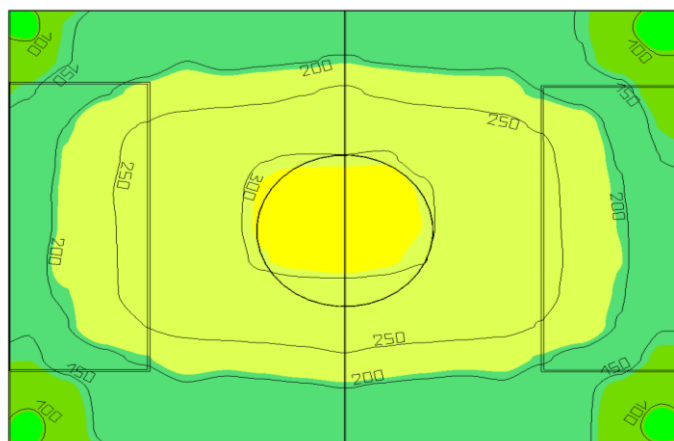


Figura 65 Resultados luminotécnicos de la cancha general

Los resultados luminotécnicos de las canchas deportivas se los aprecia en la figura 63 y 64. Donde se ha logrado obtener una uniformidad sobre toda el área, la iluminación para el área debe ser abundante, debido a que dichas áreas son destinadas a la realización de actividades deportivas en la noche.

UNE	E_m (lux)	U_m	RA
Valor establecido	200	0,5	>20
C. principal	249	0,7	No especificado
C. general	219	0,86	No especificado

Tabla 21 Resultados de las canchas deportivas

Los resultados que se obtuvieron de todas las canchas deportivas cumplen con todos los parámetros establecidos por la normativa UNE-12.193. La característica de estos valores es que en la parte de iluminancia (E_m) los resultados son superiores al objetivo planteado por la norma, con el fin de utilizar la potencia adecuada instalada en luminarias.

El cumplimiento de las diferentes canchas deportivas en los parámetros de la uniformidad media (U_0), supera los parámetros establecidos en las normativas. Por lo tanto, se establece que la uniformidad sobre los espacios deportivos tendrá un grado de uniformidad excelente, permitiendo la realización correcta de las diferentes actividades.

CONCLUSIONES

En base al proyecto realizado para el diseño de alumbrado público y ornamental del campus universitario perteneciente a la ciudad de Quito, provincia de Pichincha, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

Los parámetros establecidos por la normativa CIE-115 para el sistema de alumbrado público fueron cumplidos por el diseño de iluminación de todas las calzadas existentes dentro de campus universitario. Por parte de la empresa distribuidora local se recomienda posicionar las luminarias a 8.5 metros de altura, sin embargo, en este proyecto se han colocado a 9 metros para poder cumplir con el parámetro de uniformidad media sobre la calzada. De igual manera el parámetro de la luminancia media (l_m) que solicita las normativas para las calzadas es de 1 cd/m^2 , el cual se cumplió con éxito superando el valor establecido, logrando asegurar una correcta visibilidad conforme los parámetros establecidos.

El sistema de iluminación ornamental perteneciente a las áreas verdes no tiene una normativa local correspondiente, por tal motivo su diseño este sujeto a criterios estéticos determinados por la institución correspondiente, tal y como se lo menciona en la resolución del ARCONEL 007. Obteniendo como resultado una correcta iluminación bien direccionada hacia el suelo para evitar la contaminación lumínica y garantizando a su vez una visibilidad para el ámbito de seguridad y vigilancia nocturna. De igual forma las áreas recreativas destinadas a la comunidad universitaria tiene una iluminación superior en comparación de las áreas verdes generales debido a que su uso es para actividades de recreación destinados a la comunidad universitaria.

El campus universitario al tratarse de un área no extensa, las luminarias implementadas en los sistemas de iluminación de alumbrado público, parqueaderos y áreas verdes se pueden conectar con un cable piloto que las active a todas por igual, sin embargo, si algo sucede con el cable piloto, el costo de mantenimiento sería elevado, además de presentar fallas en el sistema de iluminación. Por tal motivo se ha determinado que todas las luminarias cuenten con una fotocélula independiente, lo cual facilita el cableado de las mismas, reduciendo gastos por mantenimiento. Además, que cada una

de las luminarias viene con una fotocélula incluida, lo cual facilita su reemplazo en caso de que presente fallas.

Las áreas solicitadas por parte de la institución educativa para el sistema de alumbrado a través de energía solar fotovoltaica, es una excelente opción en cuanto al tema del ahorro energético. Con la implementación de estas luminarias se obtiene un ahorro energético de 237 kW/h al mes, con lo cual reduce el monto monetario al momento de pagar los rubros emitidos por la empresa eléctrica distribuidora local. Adicionalmente se elimina el cableado entre los mástiles de las luminarias, ya sea aéreo o subterráneo reduciendo costos de instalación y mejorando el aspecto estético de la facultad.

RECOMENDACIONES

Se recomienda evaluar el rendimiento del área fotovoltaica una vez ya implementada del área solicitada por parte de la institución educativa, para posteriormente realizar un estudio y poder replicarlo en todo el sistema alumbrado público, ornamental y de parqueaderos perteneciente al campus universitario. Logrando tener una iluminación adecuada bajo los parámetros de las normativas y a su vez eliminando el uso de energía eléctrica proveniente de la red, reduciendo los costos reflejados en la factura de la empresa distribuidora local.

Es recomendable hacer un estudio del sistema de alumbrado público de los alrededores del campus universitario, para mejorar la estética general de la institución educativa y a su vez lograr un espacio mucho más llamativo hacia el público en general. El estudio a realizar deberá tener en consideración el uso de luminarias de tecnología LED para disminuir el consumo de energía eléctrica. Adicionalmente que la temperatura de color de las luminarias sea blanco neutro debido a que mejora la estética de los alrededores y brinda un espacio mucho más confortable para la vista de los usuarios.

REFERENCIAS

- [1] S. López Arias, "Iluminación Y Alumbrado Público," *Inf. Regul. a. P.*, p. 21, 2015, [Online]. Available: <http://www.bdigital.unal.edu.co/48843/1/1053814558.2015.pdf>.
- [2] D. Ejecutivo *et al.*, "PÚBLICO DE ENERGÍA ELÉCTRICA," no. 399, 2019.
- [3] CIE Technical Committee 4-44., "CIE 115 - Lighting of roads for motor and pedestrian traffic.," p. 37, 2010.
- [4] A. E. Bettis, "Illumination items: By the lighting and illumination committee: New practises in street lighting," *J. Am. Inst. Electr. Eng.*, vol. 42, no. 9, pp. 985–987, 2013, doi: 10.1109/joaiee.1923.6593383.
- [5] S. A. E. Mohamed, "Smart Street Lighting Control and Monitoring System for Electrical Power Saving by Using VANET," *Int. J. Commun. Netw. Syst. Sci.*, vol. 06, no. 08, pp. 351–360, 2013, doi: 10.4236/ijcns.2013.68038.
- [6] A. M. Al-smadi, "Street Lighting Energy-Saving System," pp. 2019–2022, 2019.
- [7] C. Ding and T. Zhang, "Research on health monitoring of LED lighting system," *Proc. 2016 Progn. Syst. Heal. Manag. Conf. PHM-Chengdu 2016*, pp. 1–5, 2017, doi: 10.1109/PHM.2016.7819948.
- [8] W. J. Byun, Y. S. Jin, Y. W. Kim, and J. H. Lim, "Design of Lighting Control System Considering Lighting Uniformity and Discomfort Glare for Indoor Space," *2018 Int. Conf. Platf. Technol. Serv. PlatCon 2018*, pp. 5–8, 2018, doi: 10.1109/PlatCon.2018.8472750.
- [9] Z. Wang *et al.*, "Lighting Style and Color Temperature to Emotion Response in Architecture Illumination of the Historic Buildings in Dalian," *Proc. - 2020 Int. Conf. Comput. Eng. Appl. ICCEA 2020*, pp. 613–617, 2020, doi: 10.1109/ICCEA50009.2020.00134.
- [10] M. Kopanari, H. Sigala, and C. Skandali, "Urban lighting in historic settlements: From quality lighting to cultural reinforcement," *2019 2nd Balk. Jr. Conf. Light. Balk. Light Jr. 2019 - Proc.*, pp. 5–10, 2019, doi: 10.1109/BLJ.2019.8883628.
- [11] P. Zak and J. Zalesak, "The influence of spectral properties of light in street lighting on visual perception," *Proc. 2016 IEEE Light. Conf. Visegr. Countries, Lumen V4 2016*, pp. 0–3, 2016, doi: 10.1109/LUMENV.2016.7745515.

- [12] E. Anthopoulou and L. Doulos, "The effect of the continuous energy efficient upgrading of LED street lighting technology: The case study of Egnatia Odos," *2019 2nd Balk. Jr. Conf. Light. Balk. Light Jr. 2019 - Proc.*, pp. 5–6, 2019, doi: 10.1109/BLJ.2019.8883662.
- [13] B. Li and L. Gu, "The development of LED street lamp pavement lighting effects testing system," *2014 11th China Int. Forum Solid State Light. SSLCHINA 2014*, no. 2, pp. 107–110, 2014, doi: 10.1109/SSLCHINA.2014.7127233.
- [14] I. Petrinska and D. Ivanov, "Artistic and Architectural Lighting of the Building of the Faculty of Electrical Engineering of Technical University of Sofia, Bulgaria," *2019 2nd Balk. Jr. Conf. Light. Balk. Light Jr. 2019 - Proc.*, pp. 2019–2022, 2019, doi: 10.1109/BLJ.2019.8883634.
- [15] I. Petrinska and D. Ivanov, "Estimation of the Light Pollution, Introduced by the Architectural Lighting of an Educational Building," pp. 1–4, 2020, doi: 10.1109/lighting47792.2020.9240557.
- [16] I. Petrinska and D. Ivanov, "Feasibility Study of the Reflective Properties of Façade Materials for Architectural Lighting Design," *2019 2nd Balk. Jr. Conf. Light. Balk. Light Jr. 2019 - Proc.*, pp. 2–6, 2019, doi: 10.1109/BLJ.2019.8883652.
- [17] L. Wu, Z. He, C. King, and A. S. Mattila, "In darkness we seek light: The impact of focal and general lighting designs on customers' approach intentions toward restaurants," *Int. J. Hosp. Manag.*, vol. 92, no. May 2020, p. 102735, 2021, doi: 10.1016/j.ijhm.2020.102735.
- [18] K. R. Wagiman, M. N. Abdullah, M. Y. Hassan, N. H. Mohammad Radzi, A. H. Abu Bakar, and T. C. Kwang, "Lighting system control techniques in commercial buildings: Current trends and future directions," *J. Build. Eng.*, vol. 31, no. March, p. 101342, 2020, doi: 10.1016/j.jobbe.2020.101342.
- [19] A. Abdullah, S. H. Yusoff, S. A. Zaini, N. S. Midi, and S. Y. Mohamad, "Smart Street Light Using Intensity Controller," *Proc. 2018 7th Int. Conf. Comput. Commun. Eng. ICCCE 2018*, pp. 361–365, 2018, doi: 10.1109/ICCCE.2018.8539321.
- [20] S. Gorgulu and S. Kocabey, "An energy saving potential analysis of lighting retrofit scenarios in outdoor lighting systems: A case study for a university campus," *J. Clean. Prod.*, vol. 260, 2020, doi: 10.1016/j.jclepro.2020.121060.

- [21] B. Nasir and M. Yaseen, "Efficiency Calculation of LEDs Used In Street Lighting Lamps By Matlab."
- [22] L. Halefoglu *et al.*, "Smart lighting: Developing a smarter control mechanism for park trail lighting," *2016 IEEE Syst. Inf. Eng. Des. Symp. SIEDS 2016*, pp. 277–282, 2016, doi: 10.1109/SIEDS.2016.7489314.
- [23] P. Zajac and G. Przybylek, "Lighting lamps in recreational areas – Damage and prevention, testing and modelling," *Eng. Fail. Anal.*, vol. 115, no. May, p. 104693, 2020, doi: 10.1016/j.engfailanal.2020.104693.
- [24] J. Symons and C. Mockler, "Co No Co," pp. 1–15, 1997.
- [25] CIE-146/147 Colección de la CIE sobre el deslumbramiento, "Comision internacional de iluminacion," 2002.
- [26] A. P. L. Sokio, "La I L U S T R a C I O N E S P a Ñ o L a Y Americana . N ." X X X I I I."
- [27] C. D. E. I. Eléctrica, "Análisis de la densidad de potencia eléctrica del alumbrado público del casco urbano de la ciudad de Azogues," 2020.
- [28] A. Mandala, "Lighting Quality in the Architectural Design Studio (Case Study: Architecture Design Studio at Universitas Katolik Parahyangan, Bandung, Indonesia)," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, vol. 238, no. 1, 2019, doi: 10.1088/1755-1315/238/1/012032.
- [29] V. Gyurov and H. Panchev, "Experimental Research on Light and Energy Parameters of Intelligent Street and Road Lighting Systems," *2019 11th Electr. Eng. Fac. Conf. Bulef 2019*, vol. 3, no. 2, pp. 2019–2022, 2019, doi: 10.1109/Bulef48056.2019.9030760.
- [30] Y. C. D. E. E. Arconel, "RESOLUCIÓN Nro. ARCONEL-054/18," pp. 1–28, 2018.
- [31] Ministerio De Industrias y Productividad, "Reglamento Técnico Ecuatoriano Rte Inen 069 (1R) "Alumbrado Público"," no. 351, p. 11, 2013, [Online]. Available: <http://www.normalizacion.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2015/02/RTE-069-1R.pdf>.
- [32] B. Nasir, M. Yaseen, F. Polzin, P. von Flotow, and C. Nolden, "Exploring the Role of Servitization to Overcome Barriers for Innovative Energy Efficiency Technologies The Case of Public LED Street Lighting in German Municipalities," *SSRN Electron. J.*, vol. 07, 2016, doi: 10.2139/ssrn.2743214.
- [33] G. Flores, "Factibilidad del sistema de alumbrado público empleando

- luminarias LED y alimentación solar fotovoltaica,” p. 18, 2016.
- [34] I. Kecerdasan and P. Ikep, “No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title,” p. 6.
- [35] S. Navarrete, “Enfoque fenomenológico de la crítica arquitectónica: el rol de la experiencia sensible,” *Arquisur*, pp. 44–55, 2016.
- [36] S. Navarrete, I. Kecerdasan, and P. Ikep, “Enfoque fenomenológico de la crítica arquitectónica: el rol de la experiencia sensible,” *Arquisur*, p. 6, 2016.
- [37] M. S. Rea, “The what and the where of vision lighting research,” *Light. Res. Technol.*, vol. 50, no. 1, pp. 14–37, 2018, doi: 10.1177/1477153517710306.
- [38] “auxiliar Magnitudes y unidades de.”
- [39] I. Genovez, “Eficiencia Energética En El Servicio De Alumbrado Público Del Ecuador,” p. 189, 2015, [Online]. Available: <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/22351/1/tesis.pdf>.
- [40] M. S. Rea, “The lumen seen in a new light: Making distinctions between light, lighting and neuroscience,” *Light. Res. Technol.*, vol. 47, no. 3, pp. 259–280, 2015, doi: 10.1177/1477153514527599.
- [41] AA.VV., *Steven Holl. Cuestiones de percepción. Fenomenología de la arquitectura*. 2011.
- [42] S. E. Rasmussen, “Experiencia de la arquitectura.” 2012.
- [43] Promateriales, “Iluminación artificial en la arquitectura Y LA LUZ SE HIZO,” *Promateriales*, vol. 65, pp. 65–80, 2013.
- [44] A. Caveda, Eduard; Muros, “La Iluminación Artificial es Arquitectura,” p. 284, 2013, [Online]. Available: <https://upcommons.upc.edu/handle/2099.3/36601#.XkU7J4qFcD0.mendeley%0Awww.upc.edu/idp>.
- [45] J. Ballester-Olmos, “Iluminación artificial de las zonas verdes,” *Hojas Divulg.*, no. 2121, p. 20, 2016, [Online]. Available: https://www.ceisp.com/fileadmin/pdf/Downloads/Iluminacion_Artificial_de_Zonas_Verdes.pdf.
- [46] “Guía Guía,” pp. 185–278, 2012.
- [47] E. Y. Arquitectura *et al.*, *No 主観的健康感を中心とした在宅高齢者における健康関連指標に関する共分散構造分析Title*, vol. 53, no. 9. 2015.
- [48] P. Tabaka and I. Fryc, “Landscape lighting as a source of light pollution - The

- effect of the seasons on this phenomenon,” *Proc. 2016 IEEE Light. Conf. Visegr. Countries, Lumen V4 2016*, 2016, doi: 10.1109/LUMENV.2016.7745541.
- [49] C. D. Galatanu, “Light pollution assessment using photographic methods,” *EPE 2014 - Proc. 2014 Int. Conf. Expo. Electr. Power Eng.*, no. Epe, pp. 699–703, 2014, doi: 10.1109/ICEPE.2014.6969999.
- [50] F. Kundracik and M. Kocifaj, “SkyGlow Model Successfully Applied to the Evaluation of the Light Pollution over Tucson, U.S.,” *7th Light. Conf. Visegr. Countries, LUMEN V4 2018 - Proc.*, no. 2, 2018, doi: 10.1109/LUMENV.2018.8520963.
- [51] T. Kyuchukov, “Light Pollution – ‘ Borders ’ of Lighting Design,” 2019.
- [52] M. De and A. Exterior, “Instrucción Técnica Complementaria EA - 01 Eficiencia Energética,” pp. 1–9, 2012.
- [53] D. L. DiLaura, K. W. Houser, R. G. Mistrick, and G. R. Steffy, “The lighting handbook,” *Light. Handb. Ref. Appl. New York Illum. Eng. Soc. North Am. 1328 p.*, p. 1328, 2011.
- [54] “UNE 12.193,” pp. 1–5.
- [55] Ing. Marco Sosa, “Co No on Co No,” p. 99, 2009.
- [56] I. Takahashi, “歐米視察の2, 3の印象,” *Sen’i Gakkaishi*, vol. 8, no. 4, pp. 163–164, 1952, doi: 10.2115/fiber.8.163.

ANEXOS

Lugar	E _H ave (lux)	E _H min (lux)	E _{sc} min (lux)
Parques en áreas residenciales	5	2	2
Centro ciudad	10	5	3
Soportes y pasadizos	10	5	10

Anexo 1 Requisitos de iluminación para paseos peatonales y caminos

Área	E _H ave (lux)	E _H min (lux)
Comercial	30	15
Residencial	20	6

Anexo 2 Requisitos de la iluminación para cruces de carretera peatonal

Área	E _H (lux)	E _V (lux)
Escaleras en superficie escalón	-	<20
Escaleras en el frontal del escalón	>40	-
Rampas	>40	-

Anexo 3 Requisitos de iluminación para escaleras y rampas peatonales

Parámetro	Opciones	Valor ponderado	VW selecto
Volumen de tráfico	Muy alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
	Baja	-0,5	
	Muy baja	-1	
Velocidad	Muy alta	1	
	Alta	0,5	
	Moderada	0	
Separación de carriles	Si	1	
	No	0	
Composición del tráfico	Mixto con alto porcentaje de no motorizado	2	
	Mixto	1	
	Solo motorizado	0	
Densidad de intersección	Alta	1	
	Moderada	0	
Parqueadero	Presente	0,5	
	Ausente	0	
Control de tráfico	Pobre	0,5	
	Moderada o buena	0	
Luminancia ambiental	Alta	1	
	Moderada	0	
	Baja	-1	

Suma de
valores
ponderados

Anexo 4 Parámetros para la selección de la clase de iluminación M.

Categoría de calzada	Superficie de carretera				Deslumbramiento	Coeficiente de alrededores
	Seco			Mojado		
	L_m [cd/m ²]	U0	Ui	U0	f_{ti} [%]	SR
M1	2	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M2	1,5	0,4	0,7	0,15	10	0,5
M3	1	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M4	0,75	0,4	0,6	0,15	15	0,5
M5	0,5	0,35	0,4	0,15	15	0,5
M6	0,3	0,35	0,4	0,15	20	0,5

Anexo 5 Clases de iluminación para tráfico motorizado, basadas en la luminancia de la

Zona de parqueaderos	E_m	Ra
Tráfico ligero - aparcamientos de comercios, aterrizados y casas de apartamentos; parques de bicicletas	5	20
Tráfico medio - áreas de estacionamiento de grandes almacenes, edificios de oficinas, plantas, complejos deportivos y polivalentes	10	20
Tráfico pesado - áreas de estacionamiento de escuelas, iglesias, grandes centros comerciales, grandes complejos deportivos y de edificios polivalentes	20	20

Anexo 6 niveles de iluminación para parqueaderos

MATERIAL	FACTOR DE REFLEXIÓN ρ
hormigón medio	0.3 - 0.4
Ladrillo amarillo claro	0.35
Ladrillo pardo	0.30
Ladrillo rojo	0.15
Granito rosa	0.30
Granito gris	0.10 - 0.15
mármol claro	0.50 - 0.60
Mármol ligeramente coloreado	0.30
Mármol oscuro	0.15
Piedra clara	0.50
Piedra mediamente coloreada	0.30
Piedra oscura	0.15

Anexo 7 Factor de reflexión de algunos materiales

NATURALEZA DE LOS MATERIALES DE LA SUPERFICIE ILUMINADA	NIVELES DE ILUMINANCIA MEDIA (lux)			COEFICIENTES MULTIPLICADORES DE CORRECCIÓN			
	Iluminación de los alrededores			Corrección para el tipo de lámpara		Corrección para el estado de la superficie iluminada	
	Baja	Media	Elevada	H.M. LED	S.A.P S.B.P	Sucia	Muy Sucia
Piedra clara, mármol claro	20	30	60	1	0.9	3	5
Piedra media, cemento, mármol coloreado claro	40	60	120	1.1	1	2.5	5
Piedra oscura, granito gris, mármol oscuro	100	150	300	1	1.1	2	3
Ladrillo amarillo claro	35	50	100	1.2	0.9	2.5	5
Ladrillo marrón claro	40	60	120	1.2	0.9	2	4
Ladrillo marrón oscuro, granito rosa	55	80	160	1.3	1	2	4
Ladrillo rojo	100	150	300	1.3	1	2	3
Ladrillo oscuro	120	180	360	1.3	1.2	1.5	2
Hormigón arquitectónico	60	100	200	1.3	1.2	1.5	2
REVESTIMIENTO DE ALUMINIO:							
- terminación natural	200	300	600	1.2	1.1	1.5	2
- Termolacado muy coloreado (10%) rojo, marrón, amarillo	120	180	360	1.3	1	1.5	2
- Termolacado muy coloreado (10%) azul - verdoso	120	180	360	1	1.3	1.5	2
- Termolacado colores medios (30-40%) rojo, marrón, amarillo	40	60	120	1.2	1	2	4
- Termolacado colores medios (30-40%) azul - verdoso	40	60	120	1	1.2	2	4
- Termolacado colores pastel (60-70%) rojo, marrón, amarillo	20	30	60	1.1	1	3	5
- Termolacado colores pastel (60-70%) azul - verdoso	20	30	60	1	1.1	3	5

Anexo 8 Niveles de iluminancia media en servicio del alumbrado ornamental

Donde: Coeficientes multiplicadores de corrección para lámparas de halogenuros metálicos (H.M.), LED's, de vapor de sodio a alta presión (S.A.P.) y a baja presión (S.B.P.), así como para el estado de limpieza de la superficie iluminada.

Clase	Iluminación horizontal (lux)	Uniformidad	Rendimiento cromático	Valoración de brillo
I	750	0,7	>60	N/A
II	500	0,7	>60	N/A
III	200	0,5	>20	N/A

Anexo 9 Recomendaciones de iluminación para eventos no televisados

Tipo de vía	Características técnicas			
	Velocidad de operación	Distancia paralela ente ellas	Ancho de carriles	Separación de calzadas
Expresa	60 a 80 km/h	8000 – 3000 m	3,65 m	Parterre mínimo de 6 m
	50 a 70 km/h		3,65 m	Parterre

Arteriales principales		3000 – 1500 m		
Arteriales secundarias	30 a 50 km/h	1500 – 500 m	3,65 m	Parterre mínimo de 4 m, Puede no tener parterre y estar separadas con señalización horizontal
Colectoras	20 a 40 km/h	1000 – 500 m	3,5 m	Separación con señalización horizontal. Puede tener parterre mínimo de 4 m
Locales	Máximo 30 km/h	100 – 300 m	3,5 m	Señalización horizontal

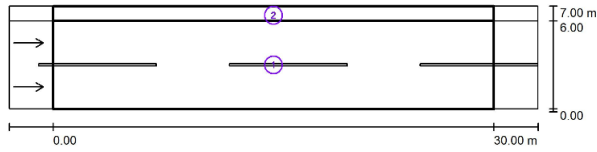
Anexo 10 Especificaciones de vía I

Tipo de vía	Transito	Especificaciones mínimas de la vía					
		No. Carriles por sentido	Ancho de vía	Ancho de acera	Parterre [m]	Ancho carril (Estacionamiento)	Ancho total
Local D	Vehicular	1	7,00	2,00	---	2,00	13,00
Local E	Vehicular	1	6,00	2,00	---	2,00	12,00
Local F	Vehicular	1	7,00	2,00	---	---	11,00
Local G	Vehicular	1	6,00	2,00	---	---	10,00
Local H	Vehicular	1	6,00	1,50	---	---	9,00
Local I	Vehicular	1	5,60	1,20	---	---	8,00
Local J	Vehicular	---	---	---	---	---	6,00
A (2)	Peatonal	---	---	---	---	---	6,00
B (2)	Peatonal	---	---	---	---	---	3,00
Escalinata	Peatonal	---	---	---	---	---	2,40

Anexo 11 Especificaciones de vía II

Tipo de vía	Parámetros fotométricos					Altura recomendada montaje [m]	Potencia luminaria
	L _p mínimo [cd/m ²]	U ₀ Mínimo	TI Máximo [%]	UL mínimo	SR Mínimo		
Colectora Arterial Principal Arterial Secundaria Expresa	2	0,4	10	0,7	0,5	11 a 12	400 W
Local A	2	0,4	10	0,7	0,5	11 a 12	400 W
Local B	2	0,4	10	0,7	0,5	12 a 12	400 W
Local C	1,5	0,4	10	0,7	0,5	13 a 12	250 W
Local D a F	1	0,4	15	No requiere	0,5	8 a 8,5	150 W
Local G a J	0,75	0,4	15	No requiere	0,5	8 a 8,5	100 W
Peatonal A, B y escalinatas	0,75	0,4	15	No requiere	0,5	8 a 8,5	100 W

Anexo 12 Niveles de iluminación para las vías



Factor mantenimiento: 0.89

Escala 1:258

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 6.000 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: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

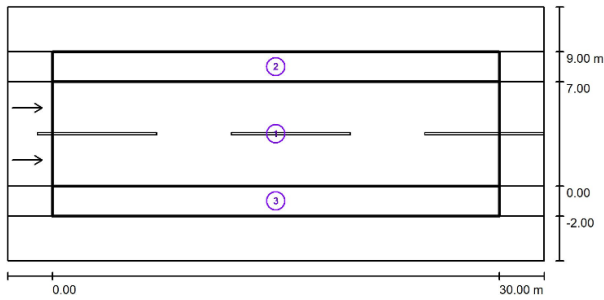
Valores reales según cálculo:	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores de consigna según clase:	1.02	0.60	0.78	9	0.83
Cumplido/No cumplido:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:	E_m [fc]	U0
Valores de consigna según clase:	1.24	0.67
Cumplido/No cumplido:	≥ 0.70	≥ 0.40
	✓	✓

Anexo 13 Resultados de la calzada principal.



Factor mantenimiento: 0.89

Escala 1:258

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 30.000 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: ME3a

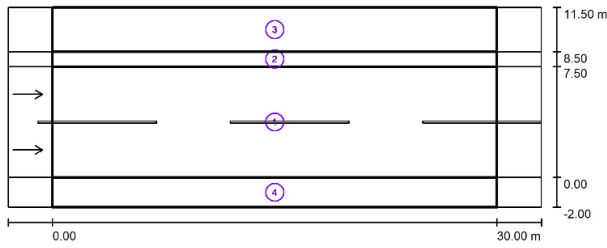
(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Valores reales según cálculo:	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores de consigna según clase:	1.07	0.55	0.72	8	0.69
Cumplido/No cumplido:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 2.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Anexo 14 Resultados de la entrada lateral



Factor mantenimiento: 0.89

Escala 1:258

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 7.500 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: ME3a

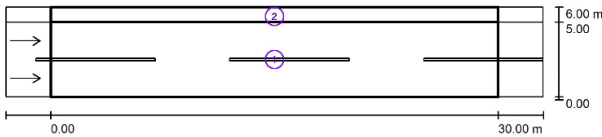
(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.14	0.54	0.73	8	0.67
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

Anexo 15 Resultados de la calzada de acceso interno



Factor mantenimiento: 0.89

Escala 1:258

Lista del recuadro de evaluación

- 1 Recuadro de evaluación Calzada 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 5.000 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: ME3a

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	L_m [cd/m ²]	U0	UI	TI [%]	SR
Valores reales según cálculo:	1.00	0.64	0.85	8	0.89
Valores de consigna según clase:	≥ 1.00	≥ 0.40	≥ 0.70	≤ 15	≥ 0.50
Cumplido/No cumplido:	✓	✓	✓	✓	✓

- 2 Recuadro de evaluación Camino peatonal 1
 Longitud: 30.000 m, Anchura: 1.000 m
 Trama: 10 x 3 Puntos
 Elemento de la vía pública respectivo: Camino peatonal 1.
 Clase de iluminación seleccionada: CE5

(Se cumplen todos los requerimientos fotométricos.)

	E_m [fc]	U0
Valores reales según cálculo:	1.24	0.62
Valores de consigna según clase:	≥ 0.70	≥ 0.40
Cumplido/No cumplido:	✓	✓

Anexo 16 Resultados de la calzada de calzada de unión interno