



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE
MÉXICO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA ÚNICO DE ESPECIALIZACIONES DE INGENIERÍA**

**“Análisis de iluminación y eficiencia energética en
alumbrado público implementando la NOM-013-ENER-
2013. Caso de estudio: Estacionamientos de la Facultad
de Ingeniería de Ciudad Universitaria.”**

Tesina

QUE PARA OBTENER EL:
Especialista en Ahorro y Uso Eficiente de la Energía

EN:
Especialidad Ahorro y Uso Eficiente de la Energía

PRESENTA:
M.I Yeney Martínez Pérez

TUTOR-DIRECTOR DE TESIS:
Dra. M. Azucena Escobedo Izquierdo



Ciudad de México
2023



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Agradecimiento

Ante todo, quiero agradecer a la UNAM y a los coordinadores del posgrado por permitirme cursar la Especialidad de Ahorro y Uso Eficiente de la Energía,

A mi tutora, la Dra. Azucena, gracias por confiar en mí,

A los profesores de la especialidad por su tiempo y sus conocimientos, gracias

A mi familia, que son mi inspiración de seguir adelante,

A mi esposo por ser mi apoyo y mano derecha en la vida,

A mis amigos, que siempre han estado presente,

Muchas gracias a todos

Resumen

La implementación de las normas mexicanas en el país garantizan que se cumplan los estándares de calidad. En estos tiempos donde la eficiencia energética es tan importante, a través de la implementación de las normas de eficiencia energética es posible transitar hacia mejor escenario energético. Ciertamente, la UNAM siendo una institución que aboga por un cambio hacia una cultura energética resulta significativo determinar si la institución se encuentra en cumplimiento de las normas energéticas. En este estudio nos centramos en los estacionamientos de la Facultad de Ingeniería (FI) de la UNAM y en su cumplimiento de la NOM-ENER-013-2013.

Se estudió si se cumple con la norma implementando la metodología descrita en la misma, donde se evaluaron los niveles de iluminancia y uniformidad de la iluminación de 6 estacionamientos de la FI de la UNAM. También se calculó el indicador de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado para los estacionamientos. Todas las mediciones de iluminación se realizaron empleando el método de los nueve puntos.

Los resultado del estudio muestran que solo el Estacionamiento 2 Norte de la FI de la UNAM se encuentra en cumplimiento de la norma. A este estacionamiento se le realizó una modelación empleando el software DiaLux EVO. Se determinó que existe un potencial de ahorro y se realizó un estudio previo de factibilidad económica a partir de una propuesta de cambio de luminarias. Al final se proponen una serie de recomendaciones a seguir para lograr transitar al cumplimiento de la norma y hacia una eficiencia energética.

Índice

Agradecimiento	2
Resumen	3
Glosario y Definiciones.....	6
Introducción.....	8
Problemática.....	8
Justificación	9
Objetivos.....	10
I. La energía eléctrica y su uso final en iluminación exterior. Eficiencia energética y tecnologías en alumbrado público.	12
Programas nacionales de eficiencia energética en iluminación.....	13
Breve reseña de las Normas Oficiales Mexicanas en iluminación.....	14
La NOM-013-ENER-2013.....	17
Metodología para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado y los niveles de iluminación en estacionamientos de acuerdo con la NOM-013-ENER-2013.....	18
Método de los nueve puntos.....	20
Tecnologías de iluminación exterior.....	22
II. Evaluación Energética del Sistema de Iluminación exterior.....	26
Equipos de medición.....	26
Facultad de ingeniería, UNAM.....	26
Censo de luminarios	31
III. Niveles de iluminación y DPEA calculados.....	33
Niveles de Iluminación.....	33
Cálculo del DPEA	45

Evaluación del potencial del ahorro	47
Análisis económico	50
Propuesta de soluciones para los estacionamientos que no cumplen con la normativa	51
Conclusiones	52
Bibliografía	54
Anexos	58
Anexo A. Luminarios de los estacionamientos	58
A1 Luminarios en el Estacionamiento 1 Sur.	58
A2 Luminarios del Estacionamiento 2 Sur.	59
A3 Luminarios del Estacionamiento 3 Sur.	59
A4 Luminarios del Estacionamiento 4 Sur.	60
A5 Luminarios del Estacionamiento 1 Norte	60
A6 Luminarios del Estacionamiento 2 Norte	61
Anexos B Tablas de cálculos de iluminancia en los estacionamientos	62
Anexos C Tablas de mediciones de iluminación de los estacionamientos	66
ANEXO D Informe de los resultados de la Modelación en DiaLux EVO	78

Glosario y Definiciones

Alumbrado público: Sistema de iluminación que tiene como finalidad principal el proporcionar condiciones mínimas de iluminación para el tránsito seguro de peatones y vehículos en vialidades y espacios.

Área total a iluminar: Es la superficie total que será iluminada por el sistema de alumbrado, sin incluir las áreas destinadas a aceras y camellones.

Ciudad Universitaria (CU): Es la sede principal de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM)

Coefficiente de utilización: Es la relación entre el flujo luminoso emitido por el luminario que incide sobre el plano de trabajo y el flujo luminoso que emite(n) la(s) lámpara(s) solas del luminario.

Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA): índice de la carga conectada para alumbrado por superficie iluminada, se expresa en W/m^2 .

Estacionamiento público. Espacio de servicio público abierto, cerrado o techado, independiente de cualquier comercio o edificio no residencial, cuya finalidad principal es el resguardo seguro de vehículos automotores.

FI: Facultad de Ingeniería

Flujo luminoso total nominal: flujo luminoso total emitido de una fuente de luz, en su posición ideal, que declara el fabricante.

Iluminancia (E). Es la relación del flujo luminoso incidente en una superficie por unidad de área; la unidad de medida es el lux (lx).

Luminancia (L). La luminancia en un punto de una superficie y en una dirección dada, se define como la intensidad luminosa de un elemento de esa superficie, dividida por el área de la proyección ortogonal de este elemento sobre un plano perpendicular a la dirección considerada. La unidad de medida es la candela por metro cuadrado (cd/m^2).

Luminancia de deslumbramiento (Ld). Es la luminancia que se superpone a la imagen que se forma en la retina y que reduce el contraste, este fenómeno se debe al brillo de las fuentes de luz o las áreas iluminadas, lo que provoca una pérdida del desempeño visual.

Nivel de iluminación: cantidad de flujo luminoso por unidad de área medido en un plano de trabajo donde se desarrollan actividades, expresada en luxes.

Sistema de alumbrado. Conjunto de equipos, aparatos y accesorios relacionados entre sí para suministrar luz a una superficie o espacio.

Relación de uniformidad. Se define como la distribución de los niveles de iluminación sobre el plano de trabajo y se puede expresar como la relación del nivel de iluminación promedio y el mínimo del área a evaluar.

Introducción.

La posibilidad de modificar el medio ambiente para nuestro beneficio se encuentra entre los avances tecnológicos que han permitido al ser humano alcanzar un estatus muy superior al resto de los seres vivos. Una de las ventajas con las que contamos y damos por sentado en la era moderna es la creación de “Luz artificial”. Sin embargo, en un inicio esto no era así, primero a partir de la quema de leña se iluminaban las noches de la edad primitiva. Luego se descubrió que al usar los aceites vegetal y animal, y la cera se obtenía una mejor iluminación. Fue así, como la búsqueda de mejores formas de iluminar las noches llevó a la conversión de electricidad en luz por medio del uso de diversas tecnologías.

En la actualidad empleamos la iluminación artificial de forma muy simple, solo presionando un interruptor, y muchas veces no pensamos en todo el proceso involucrado en su generación. Existe una gama abundante de tecnologías que van desde el empleo de luces LED u OLED hasta lámparas de sodio por citar algunas de ellas. En dependencia de la tecnología empleada para la generación de luz así será la calidad de la iluminación, el costo y el consumo que supone.

Por su parte los organismos internacionales y los gobiernos de los países toman en cuenta la utilización de tecnologías eficientes y políticas de ahorro para lograr disminuir el consumo energético en este uso. En México, también se toman medidas en este sentido al implementar reformas energéticas y normas para la instalación y comercialización de luminarios.

Problemática

La Ciudad Universitaria (CU) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) se encuentra ubicada en la región sur de la Ciudad de México. El campus central de la UNAM cuenta con más de 50 edificios, y un área de casi 7.2 km² [1].

En el campus de CU se encuentra la Facultad de Ingeniería, la cual consta con 6 estacionamientos. De estos, 4 se encuentran ubicados en la zona Sur, en los edificios de posgrado, biblioteca y el centro de ingeniería avanzada (CIA), y 2 se encuentran en el edificio principal, con un área total dedicada a estacionamientos de 16,622 m²

Los principales usos finales de energía eléctrica que se tienen en CU son: Iluminación interior y exterior, equipos de cómputo, climatización, bombeo y compresión, conservación de productos, alimentos o bebidas, y misceláneos [2, 3].

El presente trabajo se centra en el uso final en iluminación en los estacionamientos de la FI de la UNAM mencionados anteriormente. Los luminarios de estos estacionamientos cuentan con fotoceldas, mediante las cuales se encienden las luces al caer la noche y se apagan al amanecer los 7 días de la semana. Actualmente se desconoce si los luminarios de los estacionamiento de la FI de la UNAM cumplen con las normativas mexicanas en iluminación exterior en estacionamientos. Por lo que se plantea el siguiente **problema**: “Se desconoce si se cumple con los valores permisibles que se establecen en la normativa mexicana, de eficiencia energética y niveles de iluminación en los estacionamientos de la FI y si existe potencial de ahorro.”

Justificación

La eficiencia energética y el uso racional de la energía, ha adquirido importancia en la vida diaria, no solo por la cuestión ambiental sino también económica. En este sentido, la eficiencia energética contribuye a la seguridad energética, al crecimiento económico y además es un factor clave en los escenarios de reducción de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) [4].

La transición hacia los sistemas de manejo eficiente de energía se ha vuelto un común denominador en numerosos países. En México, de acuerdo con el balance nacional de energía del 2020 [5] el sector comercial, residencial y público es el tercer consumidor principal de energéticos. Dentro de este sector, el principal

consumo es en electricidad, siendo el alumbrado público uno de los principales usos finales.

Por lo que, para lograr transitar hacia un sistema de manejo eficiente de energía es necesario diagnosticar a los sistemas de alumbrado público. Esto se puede obtener a partir de la evaluación de indicadores, por ejemplo, el indicador de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA) como se aplica en la NOM 013 de la Secretaría de Energía.

La evaluación de las condiciones mínimas de iluminación para los estacionamientos, que se describen en le NOM 013, repercute en los estándares de seguridad y eficiencia. La metodología que se describe en esta NOM se presenta más adelante en el Capítulo 0. La implementación de la misma se presenta en el capítulo IV aplicada a los 6 estacionamientos correspondientes a la FI de la UNAM.

El **Alcance** del presente trabajo consiste en evaluar la eficiencia y las condiciones de iluminación de los 6 estacionamientos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM siguiendo la metodología establecida en la norma de eficiencia energética NOM 013 para alumbrado en estacionamiento público y evaluar el potencial de ahorro a partir de una modelación empleando software especializado DiaLux EVO.

Objetivos

Para resolver la situación problemática se plantea el siguiente **Objetivo General**:

“Analizar el sistema de iluminación exterior de los estacionamientos de la Facultad de Ingeniería con el fin de evaluar el nivel de eficiencia energética a través de la metodología de la NOM013 ENER 2014”.

Los objetivos específicos que se plantean son:

- Evaluar el DPEA en iluminación de los 6 estacionamientos de la FI de la UNAM siguiendo la metodología establecida en la NOM-013.

- Evaluar los niveles de iluminación de los 6 estacionamientos de la FI de la UNAM siguiendo el método de los 9 puntos establecido en la NOM-013.
- Verificar el potencial de ahorro en los estacionamientos a partir de una modelación empleando el software especializado Dialux EVO.

I. La energía eléctrica y su uso final en iluminación exterior. Eficiencia energética y tecnologías en alumbrado público.

Los usos finales de energía eléctrica que se identifican en los edificios del sector no residencial son: aire acondicionado, refrigeración, motores, cómputo, misceláneos, iluminación y otros. La iluminación es el uso final de mayor impacto en el consumo energético en las regiones con climas similares al de la CDMX [2].

Gracias a la iluminación artificial es posible realizar actividades durante las horas nocturnas sin que esto represente un peligro para la seguridad personal. La iluminación se puede clasificar en interior o exterior. Esta última puede ser de pasillos, estacionamientos y vialidades. Se entiende por alumbrado público al servicio que consiste en proveer la iluminación mínima necesaria en los vialidades y espacios públicos, como parques, jardines, estacionamientos y otros lugares de uso común garantizando la seguridad de los peatones y vehículos [6].

No obstante, siendo medioambientalmente conscientes, es necesario partir desde la perspectiva del uso eficiente de la energía. Por lo que, en México se creó en el año 1989 la Comisión Nacional de Ahorro de Energía (CONAE) y el Fideicomiso para el Ahorro de Energía” (FIDE) en el año 1990. Luego, en el año 2008 la CONAE pasaría a llamarse Comisión Nacional para el Uso Eficiente de la Energía (CONUEE). Los objetivos de la creación de estas entidades fueron, promover la cultura de eficiencia energética y funcionar como órganos técnicos para el aprovechamiento sustentable de la energía.

Estos organismos estatales son los encargados de regular e impulsar las medidas de eficiencia energética en México. Son los responsables de la implementación de los programas de eficiencia energética, algunos de los cuales se mencionarán a continuación. Esto constituyó un gran paso de avance en la implementación de la eficiencia energética a nivel nacional.

Programas nacionales de eficiencia energética en iluminación

Uno de los primeros programas implementados en México donde se realizaban cambios de luminarias fue el programa ILUMEX. En 1995 la CFE creó el “Proyecto de Uso Racional de Iluminación en México (ILUMEX)”, y que concluyó exitosamente en 1998. Este programa logró un ahorro de electricidad de 302 GWh en las ciudades de Guadalajara y Monterrey, mediante la sustitución del alumbrado por lámparas fluorescentes compactas (LFC) [7]. Este programa estaba dirigido hacia el cambio de luminarios en el interior de las viviendas. Constituyó un antecedente importante para futuros programas de eficiencia energética orientados a la iluminación, pues demostró que un cambio en las tecnologías de iluminación logra reducir el consumo energético.

En el 2010 inició el Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal [8]. Este programa cuenta con la colaboración de varias instituciones como la SENER, CONUEE, CFE y el Banco Nacional de Obras y Servicios Públicos, S.N.C. El objetivo de este programa fue apoyar a los municipios en la sustitución de su sistema de iluminación pública por otro más eficiente, de acuerdo con las normas existentes. Con la implementación de este programa se han visto beneficiados 8.3 millones de personas, se ha instalado 392 mil sistemas de alumbrado eficientes representando un ahorro de 161 millones de kWh/año. Esto es, se han ahorrado 493.4 millones de pesos anuales y se ha dejado de emitir 73 mil toneladas equivalentes de CO₂/año [9].

El Proyecto Nacional ha instalado tecnologías eficientes como aditivos metálicos cerámicos, vapor de sodio de alta presión cerámicos y diodos emisores de luz (Leds). Con su implementación se han visto beneficiados 44 municipios de 15 estados. Por sus resultados satisfactorios ha demostrado la viabilidad para expandirse a otros municipios. Entre los resultados más prominentes, reportados en 2018, se encuentra la reducción de hasta un 70% en la facturación de electricidad del municipio Pueblo Viejo en Veracruz [10].

Los programas nacionales como “El programa nacional de normalización” que comenzaron en 1995, permitieron la introducción de equipos y tecnologías más eficientes en el país. Desde el año 2013 se aplicaban 27 NOM dirigidas a regular el consumo de energía eléctrica y térmica de equipos y sistemas del sector residencial, comercial y servicios, industrial, transporte y agropecuario [7]. Estas normas se han actualizado y otras nuevas han entrado en vigor, actualmente existen vigentes 33 normas de eficiencia energética [8]. Del total de las 33 NOM-ENER, 6 son específicas para la iluminación [8]. Más abajo se abordarán los principales aspectos de las NOM energéticas dirigidas a iluminación.

Es importante señalar que además de los programas de eficiencia energética impulsados por el gobierno, de forma independiente, algunas instituciones y organismos han implementado estrategias y medidas para la eficiencia energética. Un ejemplo son las inversiones que se han realizado en el campus universitario de la UNAM para modernizar el alumbrado público en vialidades y estacionamientos. Una de estas medidas es la sustitución de las luminarias existentes por tecnologías más eficientes.

Existen varias medidas que se pueden aplicar para disminuir el consumo energético en iluminación. Las más comunes son: sustitución de luminarios y apagar las luces innecesarias. La meta principal de estas medidas es reducir el consumo sin afectar el confort de los usuarios y en cumplimiento con las normas establecidas.

Breve reseña de las Normas Oficiales Mexicanas en iluminación

En México existen varias normas oficiales que se centran en la eficiencia energética. De estas normas, las que se refieren a la eficiencia energética en iluminación son la NOM-013-ENER-2013, NOM-017-ENER-2012, NOM-028-ENER-2017, NOM-030-ENER-2016 y NOM-031-ENER-2019, siendo las últimas tres mencionadas específicas a la normalización de las tecnologías en iluminación. A continuación, se hará una breve descripción de los objetivos de las normas

antes mencionadas haciendo énfasis en la NOM-013 que es específica para alumbrado público.

El objetivo de la NOM-007-ENER-2014 “Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales” es: establecer los niveles de eficiencia energética y el método de cálculo para la determinación de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), que deben cumplir los sistemas de alumbrado de edificios no residenciales nuevos, ampliaciones y modificaciones de los ya existentes. En esta norma se indica el procedimiento de cálculo que se debe seguir para determinar los niveles de DPEA [11].

En el caso de la NOM-017-ENER-2012, “Eficiencia energética y requisitos de seguridad de lámparas fluorescentes compactas autobalastadas. Límites y métodos de prueba” se refiere a la eficiencia en las lámparas fluorescentes compactas. El objetivo de la norma es establecer los límites mínimos de eficacia luminosa, los requisitos de seguridad y los métodos de prueba. También establece la información comercial para dichas lámparas [12].

Por otra parte, la NOM-028-ENER-2017, “Eficiencia energética de lámparas para uso general. Límites y métodos de prueba”, va dirigida a la eficiencia de las tecnologías de iluminación. Su objetivo es establecer los límites mínimos de eficacia para las lámparas de uso general, destinadas para la iluminación de los sectores residencial, comercial, servicios, industrial y alumbrado público, así como sus métodos de prueba [13]. Los límites de eficacia luminosa mínima que establece la norma dependen del intervalo de potencia para las tecnologías. Las lámparas que se incluyen son las incandescentes, las incandescentes con halógenos de espectro general o modificado, fluorescentes lineales de diámetro mayor o igual a 15 mm, de descarga en alta intensidad, luz mixta y vapor de mercurio.

Debido a sus características y numerosas bondades sobre otras tecnologías, cada vez es más común encontrar luminarios LED en los sistemas de

iluminación actuales. Esto implica que exista una norma para los luminarios LED. Por lo que en el 2012 se creó la NOM-031-ENER-2012, “Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (LEDs) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba”. Y en el 2014 se publicó la NOM-030-ENER-2016 Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.

El objetivo de la NOM-031 es establecer las especificaciones y métodos de prueba que propician el uso eficiente de la energía en los luminarios con diodos emisores de luz (LEDs), destinados a vialidades y áreas exteriores públicas, así como los métodos de prueba aplicables para verificar dichas especificaciones. Asimismo, establece el tipo de información de características técnicas esenciales acordes con el uso destinado, que deben llevar los productos objeto de esta Norma Oficial Mexicana que se comercialicen dentro del territorio de los Estados Unidos Mexicanos y de igual forma, atiende la necesidad de que dichos productos propicien el uso eficiente y el ahorro de energía [14].

Las características que define la NOM-031-ENER-2012 son eficacia luminosa mínima y flujo luminoso total para luminarios de exteriores en paredes y postes, el intervalo de tolerancia de la temperatura de color correlacionada, el flujo luminoso total mínimo mantenido a las 6 000 horas, dependiendo de la vida nominal de las lámparas, los valores máximos de flujos luminosos de deslumbramiento (estos valores se dan en lúmenes (lm) y en por ciento (%) respecto al flujo luminosos total). Para los luminarios de pared el nivel de eficacia luminosa mínima que debe de cumplir es de 75 Lm/W y para los luminarios de poste el valor es de 90 lm/W.

Mientras que la NOM-030-ENER-2016 tiene como objetivo establecer las especificaciones y métodos de prueba que propician el uso eficiente de energía en las lámparas de LED integradas para iluminación general, es aplicable a todas las lámparas de led integradas omnidireccionales y direccionales, que se destinan

para iluminación general, en tensiones eléctricas de alimentación de 100 V a 277 V c.a. y 50 Hz o 60 Hz de frecuencia, que se fabriquen o importen para ser comercializadas dentro del territorio nacional [15]. Con esta norma se establecen los valores mínimos de eficacia luminosa para lámparas LED integradas. Estos valores dependen de la forma del bulbo y del flujo luminoso total nominal. También define cuanto puede depreciar el flujo luminoso de la lámpara en el tiempo de vida útil.

La NOM-013-ENER-2013.

Se hace énfasis en la NOM-013-ENER-2013 pues constituye la norma base del presente trabajo. Esta norma se refiere al alumbrado público en las vialidades y estacionamientos [16]. El objetivo de la misma es *“Establecer niveles de eficiencia energética en términos de valores máximos de Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado (DPEA), así como la iluminancia promedio para alumbrado en vialidades en las diferentes aplicaciones que se indican en la presente norma, con el propósito de que se diseñen o construyan bajo un criterio de uso eficiente de la energía eléctrica, mediante la optimización de diseños y la aplicación de equipos y tecnologías que incrementen la eficacia sin menoscabo de los requerimientos visuales”*.

La norma introduce la metodología para el cálculo del DPEA, los niveles de iluminancia mínima promedio y de la uniformidad promedio máxima empleando el método de los nueve puntos que se describe más adelante. Con la aplicación del primer indicador es posible determinar la potencia eléctrica instalada para alumbrado en el estacionamiento y establecer si es necesario un cambio de luminarias. Con los otros dos indicadores se establecen la calidad de la iluminación en los estacionamientos. Con estos últimos indicadores podemos determinar si se cumple con el mínimo de iluminación segura para transitar.

Es importante señalar que en la NOM-013 se introducen además las clasificaciones de los diferentes tipos de vialidades de acuerdo a su tipo de

pavimento. En esta se tabulan los valores permisibles de DPEA, luminancia mínima promedio, las relaciones de uniformidad y las relaciones de luminancia de deslumbramiento. Los criterios de cumplimiento con lo establecido en la norma se especifican en la sección 7 de la NOM-013.

En la norma se establece que la determinación de su cumplimiento o no, se realiza por parte de la Unidad de Verificación que esté acreditada. Sin embargo, con la descripción que se proporciona en la norma es posible realizar un estudio preliminar del cumplimiento de la misma.

Esta es la norma establecida en México para el estudio y evaluación de los estacionamientos y se empleará en la presente evaluación de los estacionamientos de la FI de la UNAM. En el siguiente capítulo se expone la metodología para el cálculo de los indicadores, como se describe en la NOM-013-ENER-2013.

Metodología para el cálculo de la Densidad de Potencia Eléctrica para Alumbrado y los niveles de iluminación en estacionamientos de acuerdo con la NOM-013-ENER-2013.

En la NOM-013-ENER-2013 se introduce la metodología para el cálculo del indicador DPEA y los niveles de iluminación para el alumbrado público. El DPEA se calcula a partir de la relación entre la carga total conectada y el área total que se ilumina, quedando de la forma siguiente

$$DPEA = \frac{C_T}{A_T}, \quad (1)$$

donde:

- $DPEA$ es el indicador de densidad de potencia eléctrica para alumbrado que se expresa en W / m^2 ,
- C_T es la carga total conectada para alumbrado expresada en W y que incluyen todos los equipos involucrados.

- A_T es el área total para iluminar en m^2 sin considerarse los camellones y aceras.

La norma establece que de contarse con superpostes, que son postes de alto montaje con una altura mínima de 15 m [16, 17] y un conjunto al menos tres luminarios, se considerará un diámetro de 6 veces la altura del poste. Sin embargo, en este estudio no están presente este tipo de postes.

La potencia eléctrica instalada se obtiene a partir de la información del proyecto de alumbrado cuando se realizó la instalación y a partir de los datos del fabricante de los equipos instalados. Debe considerarse también la potencia de los dispositivos auxiliares, como balastos, como parte de la potencia instalada en el cálculo del DPEA.

Por otra parte, en la norma también se introduce el cálculo de la Iluminancia mínima promedio

$$E_{prom} = \frac{P_1 + 2P_2 + P_3 + 2P_4 + 4P_5 + 2P_6 + P_7 + 2P_8 + P_9}{16}, \quad (2)$$

donde, cada uno de las $P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8$ y P_9 corresponden a las iluminancias de acuerdo con el método de los 9 puntos que se expone en la siguiente subsección.

Para el cálculo de la uniformidad promedio máxima en la norma se introduce la fórmula siguiente:

$$U_{max} = \frac{E_{prom}}{E_{min}}, \quad (3)$$

donde, E_{prom} es la iluminancia mínima promedio y E_{min} es la iluminancia mínima de la medición mínima obtenida mediante el método de los nueve puntos.

El valor de **iluminancia** promedio que establece la norma para estacionamientos públicos abiertos es de **25 lx**, con una relación de uniformidad máxima de 4:1 entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima.

Al implementar la norma antes mencionada se cumple con la calidad y cantidad de iluminación necesaria en los lugares objetivos, en función de la actividad visual, y al mismo tiempo se garantiza un consumo eficiente de energía.

Método de los nueve puntos.

Las mediciones se tomaron aplicando el método de los nueve puntos de acuerdo con lo descrito en la NOM-013 [16]. Esta metodología se describe en detalle en el Anexo C de dicha norma y a continuación se hará una breve descripción.

En el método de los nueve puntos se recolectan las características de los luminarios tales como: tipo de luminario, condiciones ambientales, distribución de los luminarios, distancia interpostal y altura del poste. Los tramos de los estacionamientos iluminados se dividen en 4 regiones que arrojan nueve puntos de medición. Estos puntos quedan definidos de acuerdo con la distribución de los luminarios del estacionamiento y que se presenta esquemáticamente en la Figura 1.

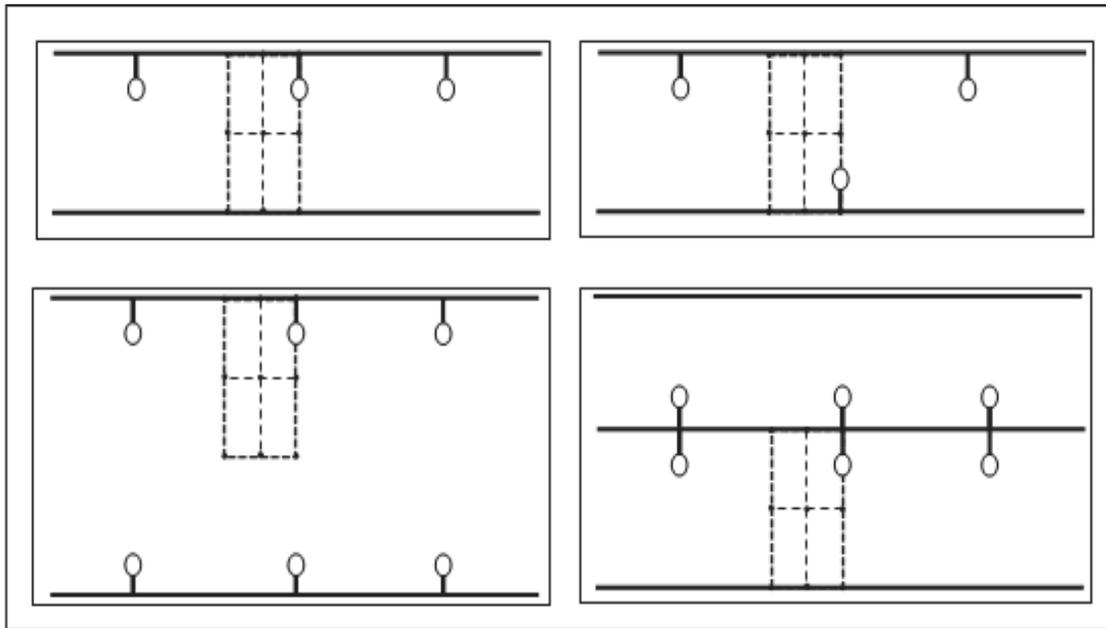


Fig. 1 Representación esquemática de la selección de las regiones en un estacionamiento o vialidad de acuerdo con el método de los nueve puntos. Los puntos quedan ubicados en las esquinas y puntos medios de la región señalada (Fuente: Elaboración propia a partir de los esquemas de la NOM-013).

Una vez establecidos los puntos, se procede con la medición de la luminancia empleando el instrumento adecuado y descrito anteriormente. Témesse en cuenta que en el esquema no se han representado las distancias donde se deben posicionar los 9 puntos, para mayor conocimiento consúltese la norma. Las distancias entre estos puntos varían dependiendo de la separación de los luminarios.

Para la implementación del método de los nueve puntos se deben dividir los estacionamientos por áreas o regiones de acuerdo con el número de luminarias con las que se cuentan. También se considera la geometría del estacionamiento y la distribución de las luminarias, ya que estas determinan el número de regiones en que se divide cada estacionamiento. En muchos casos, varias regiones pueden tener puntos en común, esto debe considerarse para no contabilizarlos doble a la hora de calcular los valores medios.

Cuando se implementa la NOM-013 y el método antes descrito es posible determinar el correcto funcionamiento de los luminarios en los estacionamientos. Es importante señalar que existen diversas tecnologías de iluminación exterior. De acuerdo con cada tecnología implementada (o la correcta implementación de la misma) dependerá el cumplimiento de la norma. Cada tecnología presenta sus propias características, beneficios y perjuicios. Estas tecnologías se describen a continuación.

Los niveles de iluminación se calculan a partir de la implementación del método de los nueve puntos. Los niveles permitidos para los estacionamientos públicos abiertos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 1 Niveles de Iluminación para estacionamientos abiertos

Área a iluminar (m ²)	Iluminancia promedio (lx)	Relación de uniformidad E_{prom}/E_{min}	Densidad de potencia eléctrica para alumbrado W/m ²
< 300	25	4:1	1,80
300 < A < 500			1,62
500 < A < 1000			1,11
1000 < A < 1500			1,08
1500 < A < 2000			0,89
A > 2000			0,88

Para el caso de los estacionamientos cerrados o techados los valores cambian. Estos se tabulan en la NOM-013 y por encontrarse fuera del objeto de estudio no se presentan en esta sección.

Tecnologías de iluminación exterior

Para la iluminación en estacionamientos se emplean diferentes tipos de tecnologías. Los aspectos de selección de la tecnología varían en función de la

finalidad del luminario, las condiciones del lugar y las consideraciones económicas. Las tecnologías han evolucionado a lo largo de los años aumentando en eficiencia. En los estacionamientos se emplean luminarios de altos valores de potencia e iluminancia que describiremos brevemente a continuación y cuyo levantamiento se presenta los anexos A1-A6.

En los estacionamientos de la FI de la UNAM se cuenta con las **lámparas de descarga en alta intensidad de descarga (HID)** pueden ser de vapor de mercurio, vapor de sodio o halogenuros metálicos. El tiempo de vida de estos equipos es alto y varia en dependencia de la tecnología y la calidad de los materiales, llegando a ser de 10 000 h hasta 40 000 h en modelos de más de 150 W. El Índice de Reproducción Cromática (IRC) tiene valores bajos en lámparas de alta potencia, sin embargo, puede alcanzar valores superiores a 85. Tiene un alto rango de temperatura de color desde colores cálidos hasta fríos. Tienen alta eficacia luminosa llegando superar los 120 lm/W en las lámparas de sodio de alta presión. Por su alta eficacia luminosa y largo tiempo de vida estos equipos son usados en alumbrado de vialidades y estacionamientos. La Figura 2 muestra algunos ejemplos de lámparas HID [18].



Fig. 2 Modelos de lámpara HID (Fuente: Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID) [19])

Otra tecnología que se encuentra en los estacionamientos de la FI de la UNAM son las **lámparas de diodo emisor de luz (LED)**. Estas han creado una revolución en la historia de la iluminación y sus aplicaciones son muy versátiles.

Por sus características, se usan tanto para la iluminación interior, decoración, así como para iluminación en exteriores. El tiempo de vida varía entre 20 000 hasta más de 100 000 horas. Tienen alta eficacia luminosa que pueden ser superiores a los 150 lm/W, el IRC es superior a 80, y la temperatura de color puede ir desde colores cálidos hasta fríos. Es importante destacar que estos valores dependen de la calidad del material con la que realizan los diodos. La Figura 3 muestra alguno de los ejemplos y diseños de lámparas LED [18].

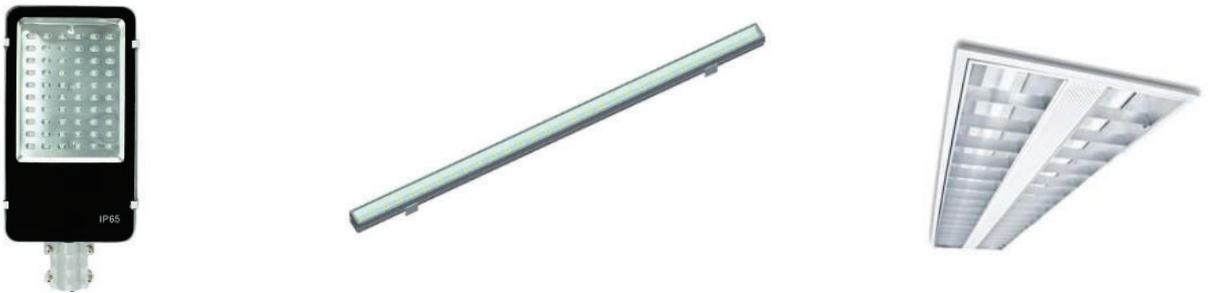


Fig. 3 Modelos de lámpara de LED (Fuente: elaboración propia con fotos tomadas de internet)

La tecnología óptima de iluminación depende de la finalidad para la que se requiera. Todas tienen sus ventajas y desventajas. A la hora de hacer el análisis para la instalación hay que tener en cuenta la ubicación, los requerimientos, y la economía.

Es importante señalar que la tecnología de **lámparas de diodos emisores de luz orgánicos (OLED)** cuenta con un número creciente de seguidores. Es de reciente creación y actualmente se encuentra en desarrollo. Los costos de producción aún se encuentran muy elevados en relación con las ya establecidas LED. Sin embargo, se debe mantener una vigilancia sobre esta tecnología, pues es prometedora por las facilidades que ofrece como es la maleabilidad de forma en su manufactura. El tiempo de vida que de estas lámparas se prevé que esté en

el orden de las LED, solo en la luz azul existe una disminución del tiempo de vida debido a la rotura de los enlaces en los OLED [20].

En este momento se cuentan con las herramientas para necesarias para efectuar la evaluación energética. La descripción detallada del objeto de estudio se presentará en el siguiente capítulo, así como el análisis correspondiente.

II. Evaluación Energética del Sistema de Iluminación exterior

Con el fin de llevar a cabo el estudio, se procedió de acuerdo con lo establecido en las normas y en el Capítulo 0 en cuanto a la información necesaria. Se efectuó el levantamiento donde se contabilizaron la cantidad total de luminarios en los estacionamientos, los tipos de luminarios, la ubicación, cuántos de estos luminarios están funcionando, los lúmenes de cada uno, y el área iluminada.

Equipos de medición

Los instrumentos empleados fueron Luxómetro, Distanciómetro y cinta métrica. Dichos equipos fueron proporcionados por el departamento de posgrado.

- El luxómetro.
- El distanciómetro.
- La cinta métrica de 50 m.

Con las mediciones, la observación y las fichas técnicas de los luminarios se puede estimar el consumo de electricidad, los valores de DPEA, los niveles de iluminación y eficacia.

Para el procesamiento de los cálculos se empleó el programa Microsoft Excel.

Facultad de ingeniería, UNAM

Los estacionamientos a los que se realizarán el estudio corresponden a los edificios de la FI de la UNAM, el conjunto norte y el conjunto sur. Los cuales se encuentran en el Circuito Escolar de Ciudad universitaria de la UNAM.

El conjunto norte cuenta con 2 estacionamientos y 5 edificaciones con un total de 11,283.03 m² de superficie de estacionamientos construida. La figura 4 es una vista superior del conjunto sur de la facultad de ingeniería, donde se observa la distribución de los edificios.

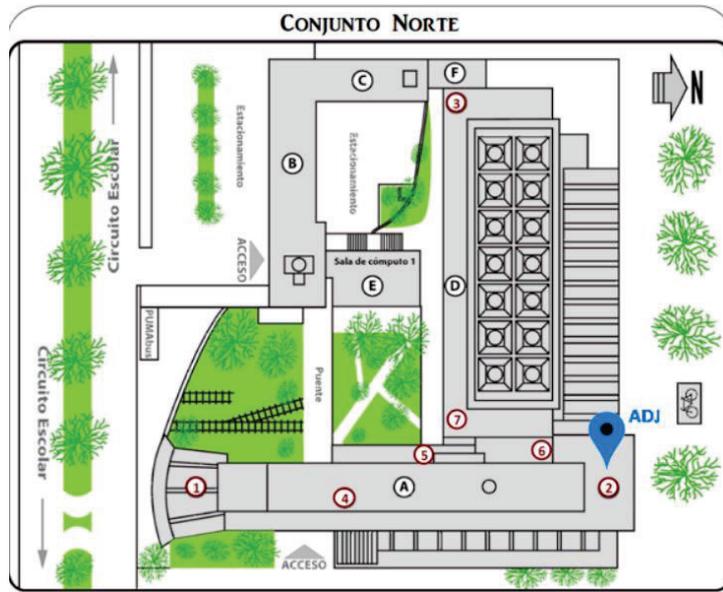


Fig. 4 Vista superior del conjunto norte de la FI (Fuente: Sitio web de la Facultad de Ingeniería de la UNAM [21]).



Fig. 5 Estacionamientos Norte 1 y 2 en vista satelital (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de [google.maps.com](https://www.google.com/maps) [22]).

La Fig. 6 muestra la vista superior del conjunto sur. El mismo cuenta con 8 edificios y la biblioteca Enzo Levi. El conjunto sur tiene 4 estacionamientos que se representan en las figuras 7 y 8.

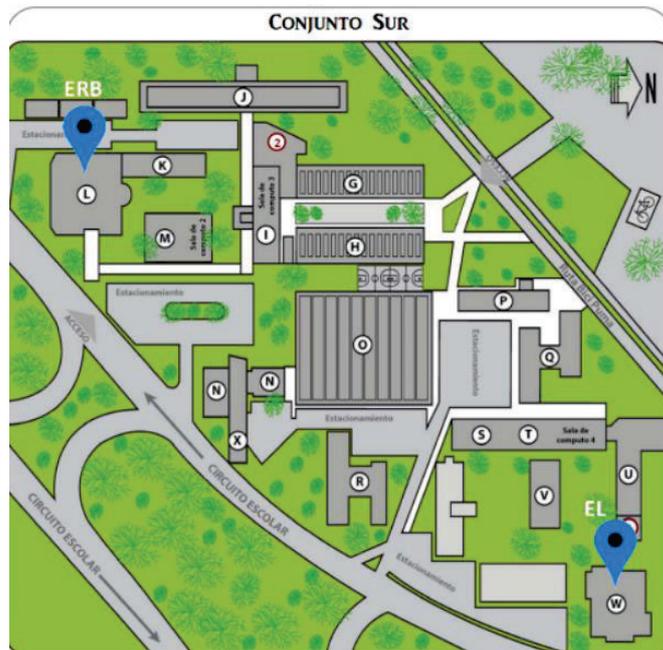


Fig. 6 Vista superior del conjunto sur de la FI (Fuente: Sitio web de la Facultad de Ingeniería de la UNAM [21]).

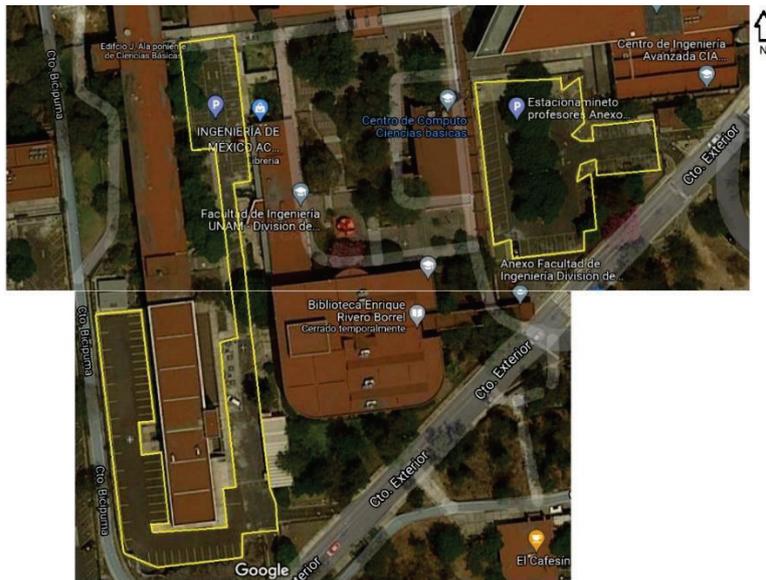


Fig. 7 Estacionamientos Sur 1 y 2 en vista satelital (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de google.maps.com [22]).



Fig. 8 Estacionamientos Sur 3 y 4 en vista satelital (Fuente: Elaboración propia a partir de fotos de google.maps.com [22]).

Las áreas de los estacionamientos se midieron empleando la cinta métrica. El Estacionamiento 1 Sur se dividió en cuatro zonas y cuenta con un área de 2484 m². El Estacionamiento 2 Sur se dividió en dos zonas y tiene un área de 1822 m². El Estacionamiento 3 Sur se dividió en cinco zonas y tiene un área de 3924 m². Por otra parte, el Estacionamiento 4 Sur se consideró íntegramente como una sola zona cuya área es de 1294 m². El Estacionamiento 1 Norte que tiene un área de 1553 m² y el Estacionamiento 2 Norte con un área de 5544 m² no se dividieron en zonas y se tomaron íntegramente. El área total medida de los 6 estacionamientos es de 16 622 m². A continuación presentaremos el levantamiento de los luminarios.

Censo de luminarios

En el Estacionamiento 1 Sur se encontraron diferentes tipos de luminarios. En este hay solo un poste simple con una potencia de 140 W. También se cuentan con 15 Reflectores de LED con una potencia nominal de 200 W que se encuentran ubicados en la parte superior de los edificios J, K, L y ERB. Estos luminarios LED se orientan hacia el estacionamiento. También se cuentan con 6 Reflectores de LED de un segundo modelo. Al igual que los reflectores LED del primer tipo, los del segundo tipo se encuentran ubicados en la parte superior de los edificios J, K y L, y se orientan hacia el estacionamiento. Las imágenes de los luminarios se presentan en el Anexo A1.

En el Estacionamiento 2 Sur se cuenta con un poste doble localizado en el separador, donde cada luminario tiene una potencia de 140 W. También se tiene un luminario de pared fluorescente compacto de 140 W ubicado sobre la garita de la entrada. Se cuentan con 3 Reflectores de LED de 200 W, ubicados en la parte superior de la pared del Centro de Ingeniería Avanzada que colinda con el estacionamiento. Estos reflectores se orientan hacia el estacionamiento.

El Estacionamiento 3 Sur tiene instalado un poste, pero se este se encuentra sin luminarios por lo que no se tomó en cuenta. Por otra parte, este estacionamiento solamente tiene instalados 8 luminarios Reflectores de LED con una potencia de 200 W. Todos estos Reflectores se encuentran ubicados en la parte superior de la pared del edificio CIA UNAM que colinda con el Estacionamiento 3 Sur. Estos reflectores se orientan hacia el estacionamiento.

El Estacionamiento 4 Sur cuenta con 3 postes dobles con una potencia de 140 W ubicados en el separador. Durante el levantamiento se notó que estos postes se encuentran apagados y que la iluminación que llega el estacionamiento proviene de las luces ubicadas en la parte superior de la pared de la Biblioteca.

El Estacionamiento 1 Norte cuenta con 2 postes de luminarios dobles con una potencia de 100 W ubicados en el separador. Es importante destacar que este

estacionamiento cuenta el apoyo de los luminarios destinadas para el alumbrado de la calle. Estos luminarios corresponden a dos postes dobles sobre la cerca del estacionamiento; donde dos luminarios apuntan directamente sobre el estacionamiento, proporcionando así un alumbrado extra. También se cuenta con 5 Reflectores de LED localizados sobre el edificio de la Facultad de Ingeniería que apuntan al estacionamiento.

Finalmente, el Estacionamiento 2 Norte cuenta con 6 postes dobles, donde cada luminario es de tecnología LED y tiene una potencia de 200 W. También este estacionamiento cuenta con 3 postes tipo jardín con luminario fluorescente compacto de 90 W de potencia que se encuentran ubicados sobre un borde del estacionamiento y hacia la entrada/salida de la FI.

III. Niveles de iluminación y DPEA calculados.

En este capítulo se presentan los resultados de las mediciones de los niveles de iluminación para los distintos estacionamientos. También se detallan los cálculos realizados y la discusión de estos. Otro aspecto que se expondrá es la ubicación de los distintos luminarios en los estacionamientos y cómo afecta dicha ubicación en los valores medidos y calculados.

Se evaluaron 3 características del sistema de alumbrado en los estacionamientos: el DPEA, para conocer si el sistema instalado es eficiente según la norma o tiene mayor demanda de la establecida; el nivel de iluminación y la uniformidad de la iluminación, para saber si cumple con el confort mínimo necesario para los usuarios.

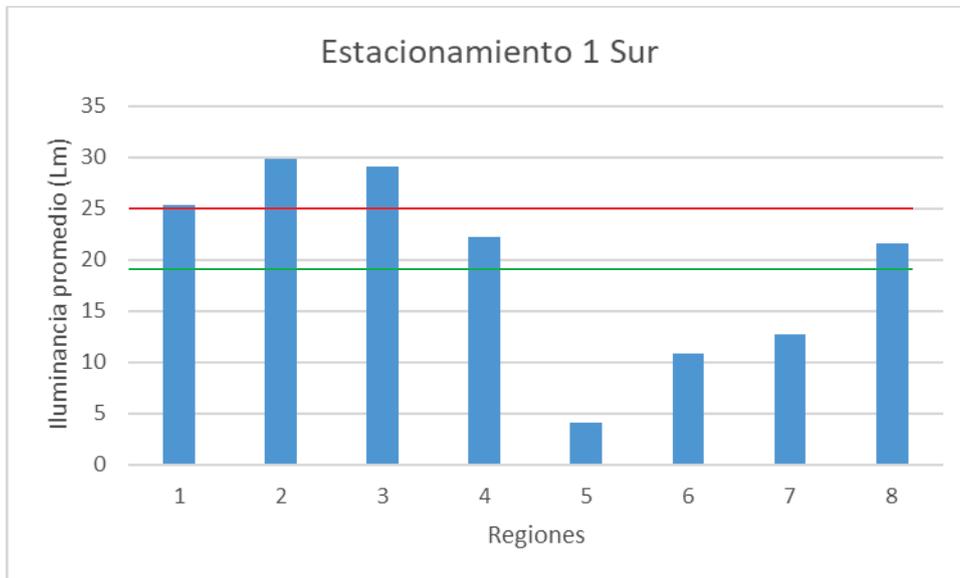
Niveles de Iluminación

Las mediciones de la iluminación se llevaron a cabo durante el horario nocturno. La toma de las mediciones durante este horario permitió verificar el también estado funcional de los luminarios y los sistemas de encendido automático. Por otra parte, la toma de las mediciones de las áreas de los estacionamientos se realizó durante el horario diurno. Recordemos que las mediciones de los niveles de iluminancia se realizaron empleando el método de los nueve puntos. Por lo que se tomaron más de 300 mediciones en total.

En las siguientes gráficas se representan los resultados de iluminación promedio y uniformidad de iluminación obtenidos de las mediciones y cálculos realizados a los estacionamientos.

Las **líneas rojas** en las gráficas de iluminación representan el valor mínimo permisible de la norma. Todos los valores que se encuentren por debajo de esta línea se encuentran en incumplimiento. Las **líneas amarillas** en los gráficos de uniformidad representan la relación máxima permitida, que es de 4 a 1, los valores por encima de esta relación representan el incumplimiento de la norma. Las **líneas**

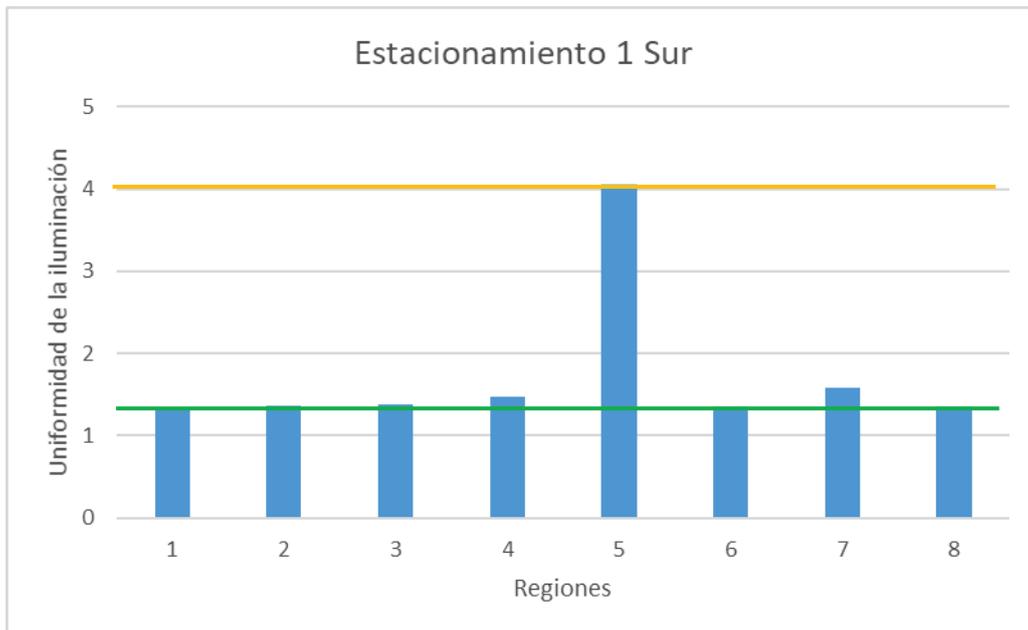
verdes en ambos tipos de gráficos, iluminación promedio y uniformidad de iluminación, se encuentran representados por líneas de color verde.



Gráfica 1 Iluminancia promedio en las 8 regiones definidas para el Estacionamiento 1 Sur

Como se explicó anteriormente en la sección del método de los nueve puntos, los estacionamientos se dividen en varias regiones para realizar las mediciones. En el caso del Estacionamiento 1 Sur se dividió en 8 regiones. En la **Gráfica 1** se presentan los valores de iluminancia promedio por regiones del estacionamiento. La línea que se resalta a los 25 Lm es el valor de cumplimiento establecido en la norma. La línea que se resalta en los 19 Lm es el promedio de todas las regiones. Como se puede apreciar, las primeras 3 regiones del Estacionamiento 1 Sur cumplen con la norma en cuanto al promedio de la iluminancia requerida. Sin embargo, 5 regiones de este estacionamiento no cumplen. Como resultado, en este estacionamiento no se cumple con la iluminancia promedio.

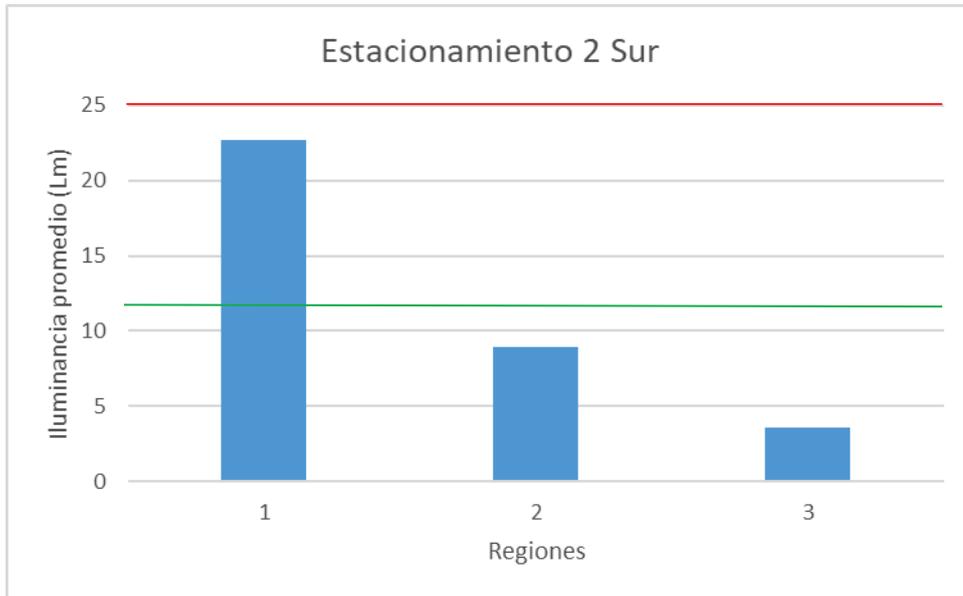
La siguiente gráfica muestra la distribución de la uniformidad por regiones en el Estacionamiento 1 Sur.



Gráfica 2 Uniformidad de la iluminancia en las 8 regiones definidas para el Estacionamiento 1 Sur

De acuerdo con lo que se establece en la norma, la Iluminancia promedio no debe exceder en 4 veces a la iluminancia mínima. Luego las relaciones de uniformidad que se encuentren por debajo de 4, que es la línea que se resalta en la Gráfica 2, estarán en cumplimiento con la norma. Se puede apreciar que este estacionamiento se encuentra en cumplimiento con los valores indicados en la norma.

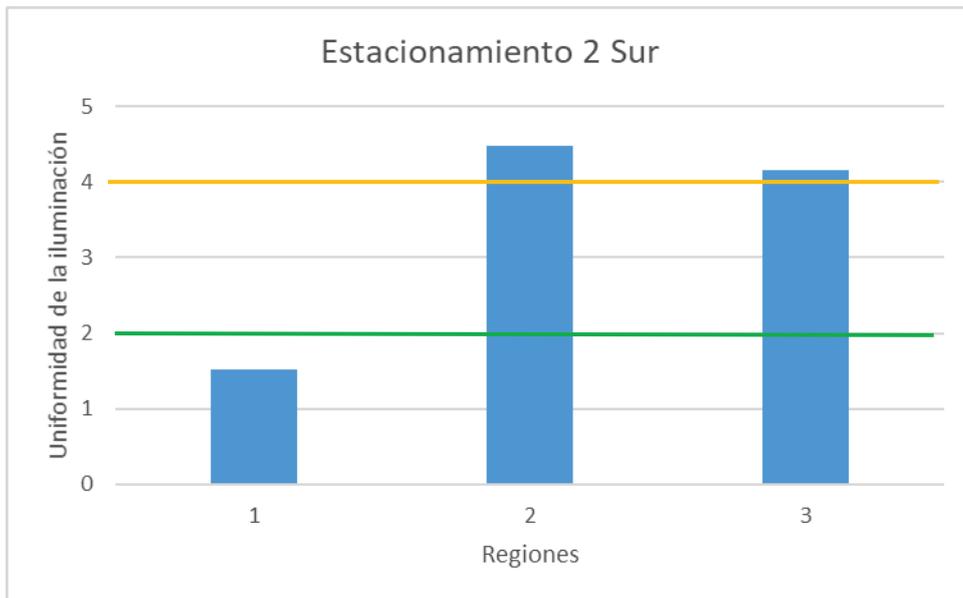
Pasando al análisis del Estacionamiento 2 Sur, se presentan los valores de la iluminancia promedio en la siguiente grafica.



Gráfica 3 Iluminancia promedio en las 3 regiones definidas para el Estacionamiento 2 Sur

Se puede apreciar que este estacionamiento no cumple con lo requerido por la norma en ninguna de sus regiones. El valor promedio de la iluminancia se encuentra en los 12 Lm. Este valor resulta ser menos de la mitad de lo establecido. Es importante mencionar que, en este estacionamiento los luminarios de poste se encuentran apagados. Los luminarios que funcionan son los reflectores de LED que se ubican en la pared del edificio CIA.

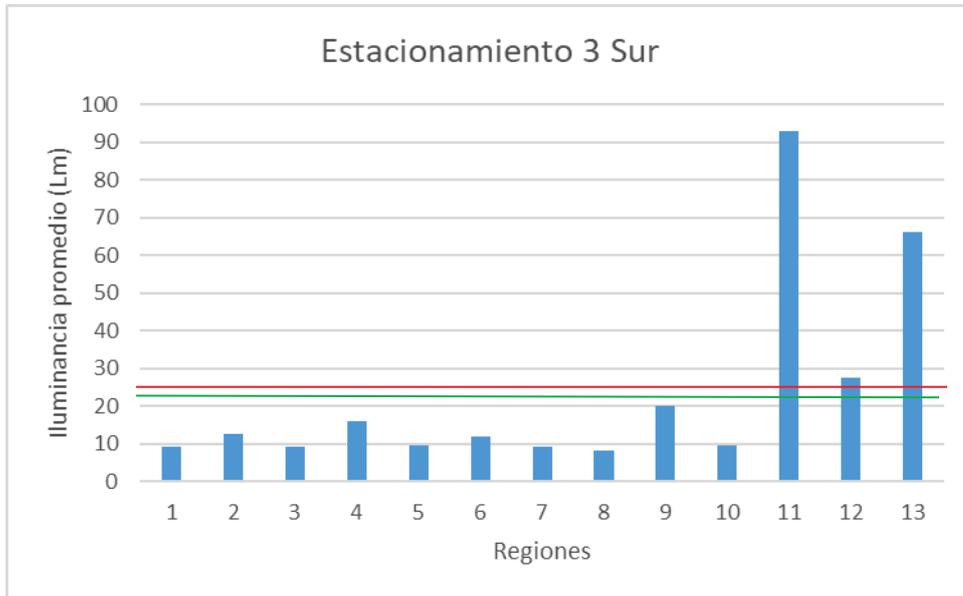
Los valores de la uniformidad para este estacionamiento se presentan a continuación.



Gráfica 4 Uniformidad de la iluminancia en las 3 regiones definidas para el Estacionamiento 2 Sur

En la Gráfica 4 se puede apreciar que dos regiones se encuentran por encima del valor de uniformidad requerido y la primera región se encuentra muy por debajo. Aunque hay 2 regiones del estacionamiento que no cumplen con la uniformidad, en promedio el estacionamiento cumple con los requerimientos de uniformidad.

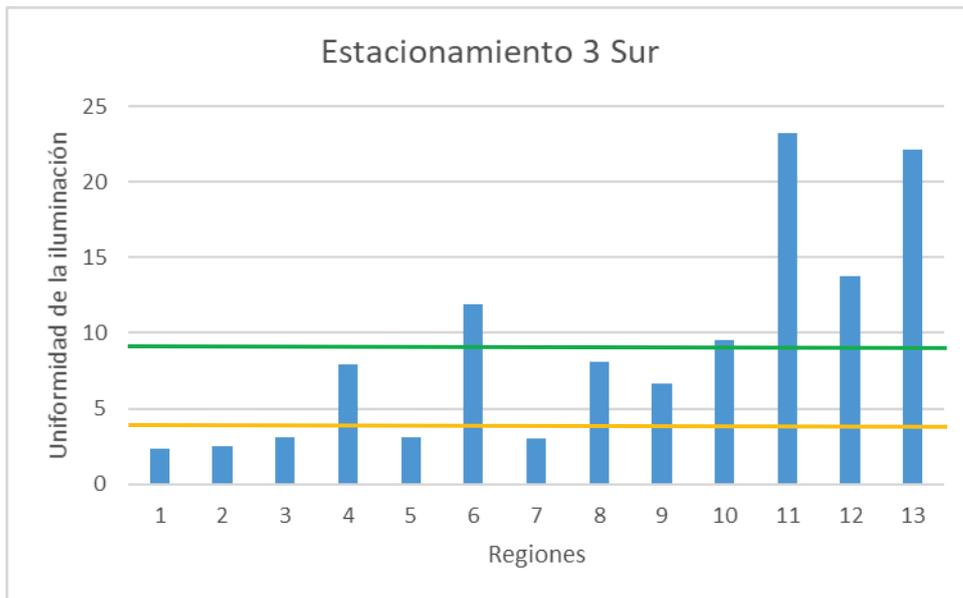
A continuación, pasamos al estudio del Estacionamiento 3 Sur. Este estacionamiento se dividió en 13 regiones, presentando valores de iluminancia promedio muy elevados. La razón para estos valores tan elevados se identifica en la tecnología de las lámparas que se emplean y en la posición donde se encuentran. En este estacionamiento se encuentran dos postes, pero ninguno cuenta con lámparas, esto constituye una de las razones de los valores que se describen a continuación.



Gráfica 5 Iluminancia promedio en las 13 regiones definidas para el Estacionamiento 3 Sur

Se puede apreciar que este estacionamiento no cumple con los valores de la iluminancia promedio que se presentan en la norma. En este caso, se tienen 10 regiones que no cuentan con la luminancia suficiente y luego tres regiones con valores muy elevados de iluminancia. Cuando comparamos la media del estacionamiento con la prescrita por la norma notamos que se encuentra por debajo del valor.

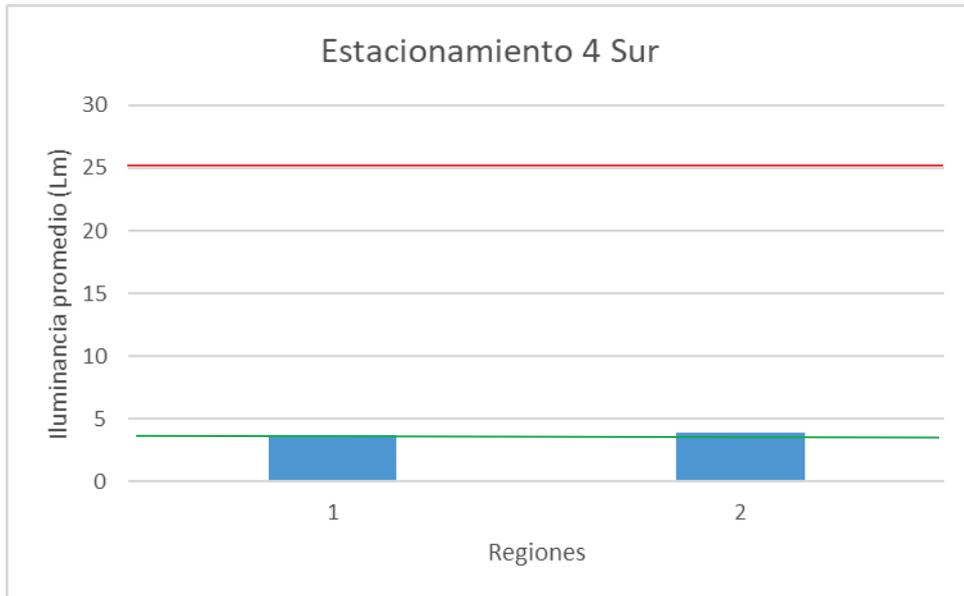
En lo concerniente a la uniformidad de la iluminación es de esperarse un comportamiento de iluminancia focalizado. No obstante, observemos la siguiente gráfica donde se muestra.



Gráfica 6 Uniformidad de la iluminancia en las 13 regiones definidas para el Estacionamiento 3 Sur

Solo 5 de las 13 regiones se encuentran por debajo de la relación 4:1 establecida por la norma. El promedio total de la uniformidad se encuentra en 9:1. Como era de esperarse, al contar este estacionamiento con luminarias que están concentradas en una parte del estacionamiento y otras partes se encuentran totalmente a oscuras, no existe uniformidad de la iluminancia.

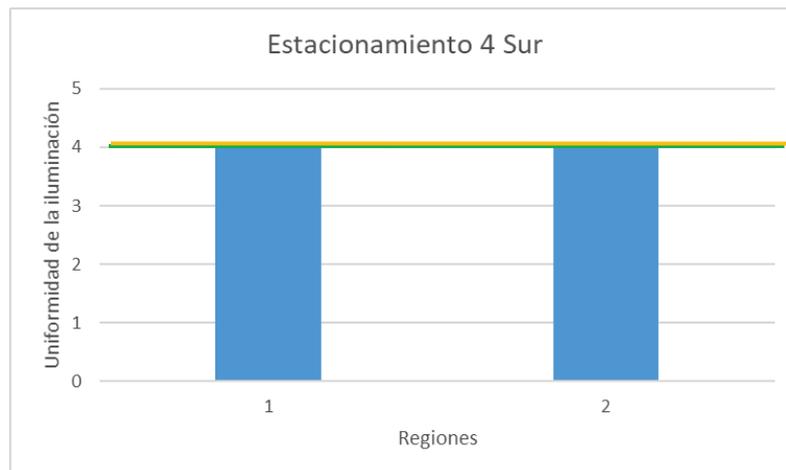
Pasemos ahora a estudiar el Estacionamiento 4 Sur. Este estacionamiento que se encuentra justo detrás de la biblioteca y se dividió en dos regiones para su estudio. En este estacionamiento las lámparas de los tres postes no estaban en operación. La única iluminación era aportada por las luminarias de la vialidad del circuito interior y en cierta medida por las luminarias que se encuentran en la parte superior de la pared trasera de la biblioteca.



Gráfica 7 Iluminancia promedio en las 2 regiones definidas para el Estacionamiento 4 Sur

Se puede apreciar que este estacionamiento no cumple con los valores establecidos para la iluminancia promedio.

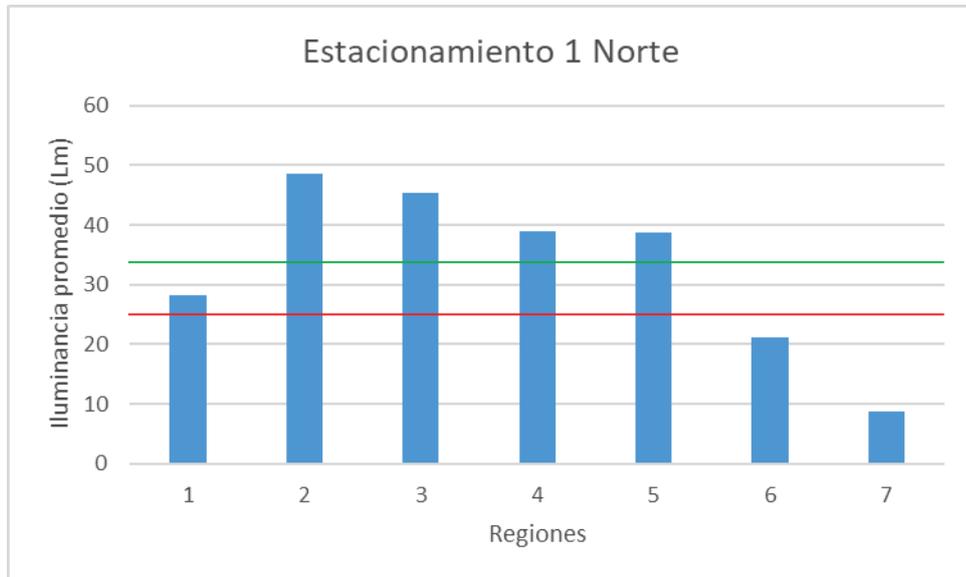
Sin embargo, si se cumple con la uniformidad, ya que se encuentra completamente oscuro y esto se puede apreciar en el siguiente gráfico.



Gráfica 8 Uniformidad de la iluminancia en las 2 regiones definidas para el Estacionamiento 4 Sur

Como se puede observar este estacionamiento se encuentra en cumplimiento con la uniformidad pues todo el estacionamiento está a oscuras.

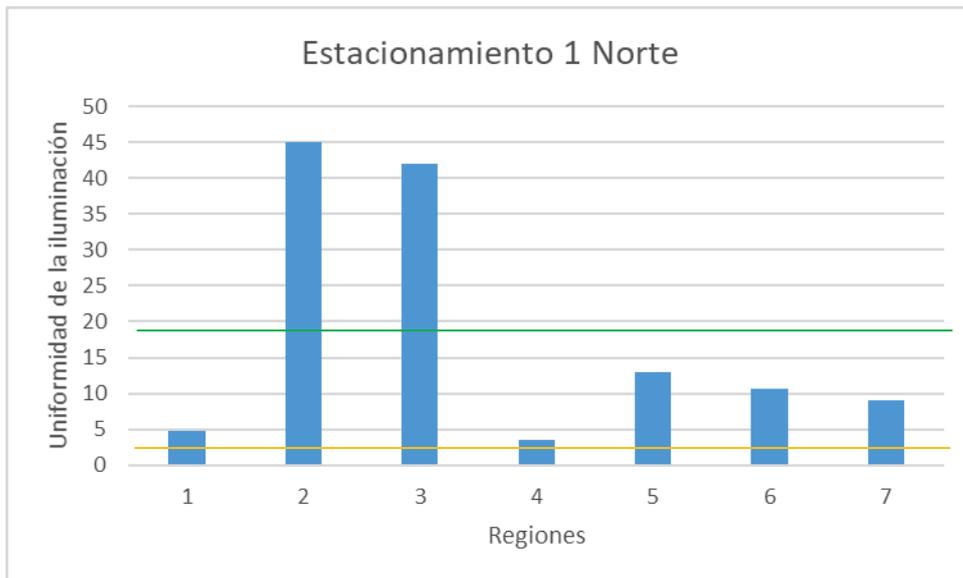
Estudiamos ahora el Estacionamiento 1 Norte que se dividió en 7 regiones.



Gráfica 9 Iluminancia promedio en las 7 regiones definidas para el Estacionamiento 1 Norte

Se observa que este estacionamiento cumple con los valores requeridos de luminancia promedio. De las 7 regiones 5 cumplen con los valores promedios de iluminancia y solo dos se encuentran por debajo. Las dos regiones que se encuentran por debajo de los valores de iluminancia promedio se encuentran en la periferia del estacionamiento. El valor promedio de iluminancia calculado para el estacionamiento se encuentra en cumplimiento con la norma.

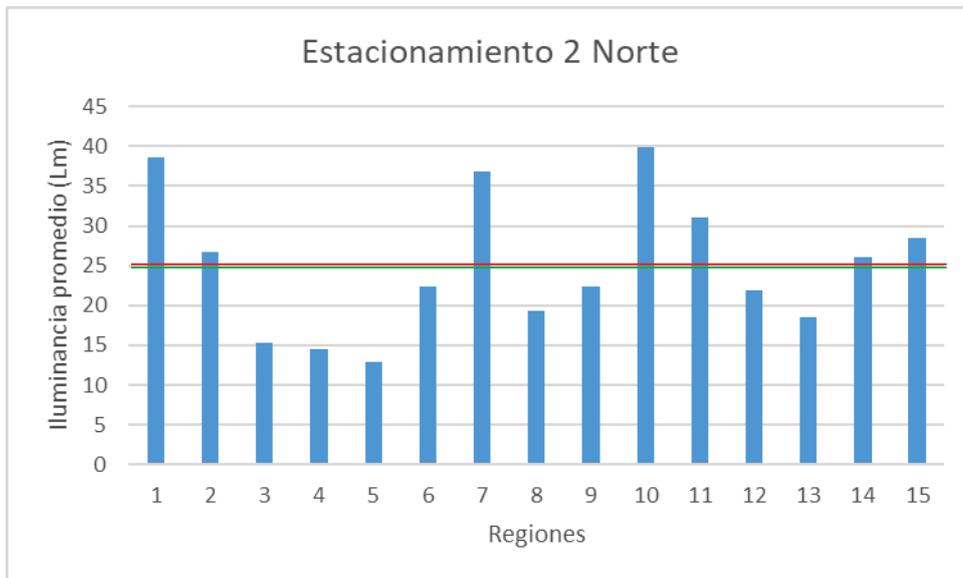
A pesar de encontrarse bien iluminado este estacionamiento, no se cuenta con la relación óptima de uniformidad de iluminancia como podemos observar a continuación.



Gráfica 10 Uniformidad de la iluminancia en las 7 regiones definidas para el Estacionamiento 1 Norte

El valor promedio total de la relación de uniformidad de iluminación para este estacionamiento es de 18 a 1. Como se puede apreciar, las regiones 2 y 3 presentan relaciones de uniformidad muy por encima del valor permitido de relación de uniformidad. Las regiones 5, 6 y 7 también cuentan con valores elevados de esta relación. En este estacionamiento, a pesar de contar con muy buena luminancia, no se cumplen con las relaciones de uniformidad para la iluminación lo que puede representar una molestia para los usuarios al tener que pasar por áreas con distintos niveles pudiendo estos encandilarse o no ver bien en algún momento.

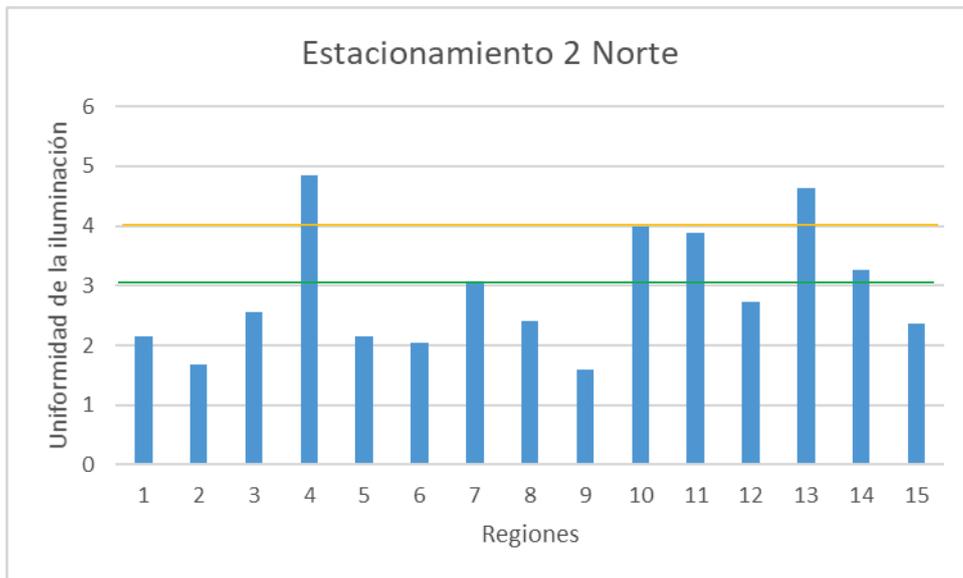
Pasemos ahora a estudiar el Estacionamiento 2 Norte que se dividió en 15 regiones. Los datos recopilados y los cálculos se presentan a continuación en la siguiente gráfica.



Gráfica 11 Iluminancia promedio en las 15 regiones definidas para el Estacionamiento 2 Norte

Como se puede apreciar este estacionamiento cumple con los niveles de iluminancia requeridos. En algunas regiones del estacionamiento los valores de las iluminancia bajan por debajo de los establecido, mientras que en otras regiones se encuentran por encima. Esto pudiera indicar que no va a existir uniformidad. El valor promedio de la iluminancia para el estacionamiento se encuentra en cumplimiento con la norma.

Como mencionamos con antelación, de acuerdo a los datos presentados, se puede pensar que este estacionamiento presentará problemas de uniformidad. Sin embargo cuando presenciamos la siguiente gráfica notamos que esto no es así.



Gráfica 12 Uniformidad de la iluminancia en las 15 regiones definidas para el Estacionamiento 2 Norte

A partir de lo presentado en esta gráfica se puede apreciar que el estacionamiento presenta las regiones 4 y 13 por encima del valor de la relación de uniformidad. El resto de las regiones presentan relaciones de uniformidad muy sutiles. Esto indica que este estacionamiento que presenta una relación de uniformidad de iluminación promedio de 3 a 1 se encuentra en cumplimiento de la norma. Es importante señalar que en este estacionamiento se cuenta con 4 postes que funcionan con lámpara de tecnología LED. También los alrededores de este estacionamiento existen otros luminarios que aportan indirectamente iluminación.

Tabla 2 Resumen de Iluminancia promedio y uniformidad.

Estacionamiento	E_{prom}	U_{max}	Cumple norma E_{prom}	Cumple norma U_{max}
E 1SUR	19.46	1.42	NO	SI
E2SUR	11.73	2.06	NO	SI
E3 SUR	23.25	8.64	NO	NO
E4SUR	3.81	3.81	NO	SI
E1NORTE	32.80	10.30	SI	NO
E2NORTE	25.00	2.60	SI	SI

Como se presentó en la Tabla 2 solamente el Estacionamiento 2 Norte cumple con la norma. El Estacionamiento 1 Norte cumple con la iluminancia promedio, pero no cumple con la uniformidad. El resto de los estacionamientos no cumplen con la iluminancia requerida para este tipo de espacios.

Cálculo del DPEA

El cálculo del DPEA se realiza empleando la fórmula descrita en la NOM-013 que se presenta a continuación:

$$DPEA = \frac{\text{Carga Total conectada para alumbrado}}{\text{Área Total Iluminada}}, \quad (4)$$

La carga total conectada de cada estacionamiento se conoce a partir del levantamiento de luminarios. De igual manera sucede con el área total iluminada. Los datos recopilados y los cálculos se presentan en las Tablas 7 y 8 siguientes para todos los estacionamientos.

Tabla 3 Potencia instalada en cada estacionamiento por tipo de luminario

ESTACIONAMIENTO	TIPO DE LUMINARIO	POTENCIA NOMINAL DEL LUMINARIO (W)	CANTIDAD DE LUMINARIOS	POTENCIA INSTALADA (W)
E-1-SUR	LUMINARIA DE POSTE	140	1	140
	REFLECTORES DE LED TIPO 1	200	15	3000
	REFLECTORES DE LED TIPO 2	200	6	1200
E-2-SUR	POSTE CON LUMINARIO DOBLE	140	2	280
	REFLECTOR FC DE PARED FLC	140	1	140
	REFLECTORES DE LED TIPO 2	200	3	600
E-3-SUR	REFLECTORES DE LED TIPO 2	200	8	1600
E-4-SUR	POSTE CON LUMINARIA DOBLE DE LED	140	3	420
E-1-NORTE	POSTE CON LUMINARIA DOBLE DE LED	100	4	400
	REFLECTORES DE LED	200	5	1000
E-2-NORTE	POSTE CON LUMINARIA DOBLE DE LED	200	12	2400
	POSTE TIPO JARDIN CON LUMINARIA FLUORESCENTE COMPACTO	90	2	180

Tabla 4 Valores de DPEA calculados por la NOM-013. Evaluación del cumplimiento de la NOM-013 por estacionamiento

ESTACIONAMIENTO	POTENCIA TOTAL INSTALADA (W)	AREA (M2)	DPEA (W/M2)	VALOR DE LA NOM	CUMPLE
E-1-SUR	4340	2484	1.7	0.88	NO
E-2-SUR	1020	1822	0.6	0.89	SI
E-3-SUR	1600	3924	0.4	0.88	SI
E-4-SUR	420	1294	0.3	1.08	SI
E-1-NORTE	1400	1553	0.9	0.89	NO
E-2-NORTE	2580	5544	0.5	0.88	SI

Se puede apreciar de las Tablas 3 y 4, que 2 estacionamientos no cumplen con el DPEA de la NOM-013 mientras que 4 estacionamientos sí cumplen. El Estacionamiento 1 Sur es el que tiene la mayor potencia instalada no siendo el de mayor área iluminada. Si se recuerda de la Tabla 1, este estacionamiento no cumplía con los valores de iluminancia promedio. En un análisis a posteriori, se debe evaluar un reordenamiento o cambio de los luminarios instaladas en el mismo. El otro estacionamiento que no cumple con el DPEA es el Estacionamiento 1 Norte; sin embargo, los valores promedios de luminancia en este se encuentran en cumplimiento de la norma. Podría valorarse para este estacionamiento el cambio de luminarios por otras de mejor o igual eficiencia, pero con menor potencia; buscando mantener el cumplimiento del promedio de luminancia.

El Estacionamientos 2 Norte cumple con los valores establecidos en la NOM-013. La potencia instalada en estos estacionamientos está de acorde al área a iluminar y la distribución de luminarios es la correcta.

Los Estacionamientos 2, 3 y 4 Sur que tienen valores del DPEA muy por debajo del especificado en la NOM-013 se encuentran incumpliendo además con la iluminancia requerida. Como medida para mejorar en ambos aspectos se pueden instalar nuevos luminarios en lugares estratégicos aprovechando el margen disponible en el DPEA y sin sobrepasarse del mismo.

Evaluación del potencial del ahorro

En los estacionamientos que no cumplen con los indicadores de iluminancia de la norma se deben realizar las medidas correspondientes, que son la instalación de nuevos postes con luminarias y/o dar mantenimiento a los postes disponibles que no se encuentran en uso. Con estas aumentará el consumo energético y el DPEA. Consecuentemente, los valores de DPEA determinados en este estudio dejarán de tener validez. Por tanto, en este momento, no se evalúa el potencial de ahorro en estos estacionamientos.

Por otra parte, el Estacionamiento 2 Norte se encuentra en cumplimiento con la norma y además cuenta con un valor de DPEA aceptable. Sin embargo, se quiere saber si existe potencial de ahorro aprovechando las nuevas tecnologías disponibles en el mercado. Para ello se llevó a cabo una simulación del estacionamiento empleando el software DiaLux EVO.

Esta simulación permitirá determinar si al emplear luminarias de menor potencia se sigue en cumplimiento de la NOM para iluminación. Evidentemente, si se mejoran los indicadores para el estacionamiento que ya cumple con las normas, realizar estudios similares a los estacionamientos que no cumplen arrojarán resultados satisfactorios.

En el software se reprodujo la geometría del estacionamiento conservando la ubicación de los postes y se presenta en la figura 9. De esta forma se aprovecha la infraestructura existente quedando solo los costos de cambio de luminaria y de instalación.

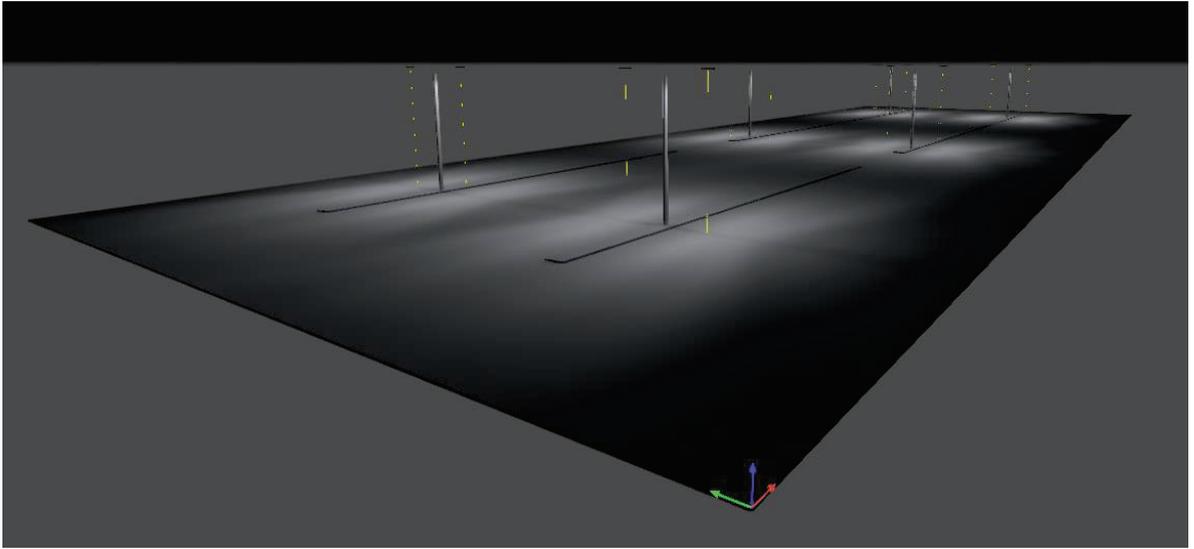
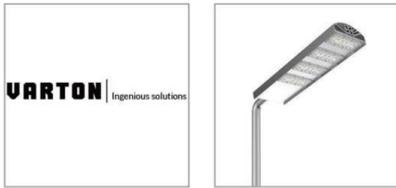


Fig. 9. Modelo del Estacionamiento 2 Norte, (Fuente: elaboración propia)

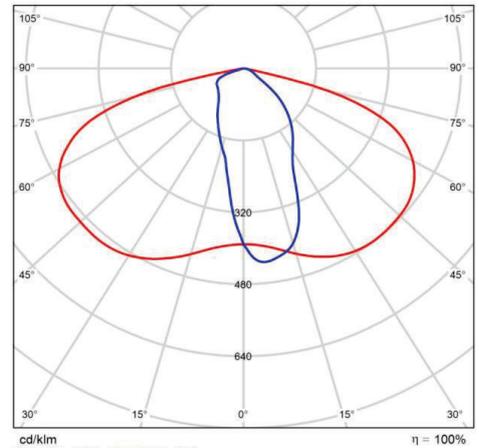
Conociendo que actualmente se cuentan con luminarias de 200 W, en la simulación se emplearon diferentes tipos de luminarias que se encuentran en la base de datos del DiaLux EVO, variando los valores de potencia entre los 90 W y los 150 W.

Las luminarias seleccionadas para el modelo son de la marca VARTON, con una potencia de 150 W, un flujo luminoso de 22 500 lm y una eficacia luminosa de 150.00 lm/W. Según el modelo, el estacionamiento con estas luminarias cumple con los valores de iluminancia promedio establecidos en la norma. Se obtuvo un valor de iluminancia perpendicular de 35.9 lx. En la figura 10 se muestran las características principales de la luminaria seleccionada.

VARTON - Street lighting



Article No.	V1-S1-70289-40L32-6515050 Uran 2.0 Road 150W 5000K
P	150.0 W
Φ_{Lamp}	22500 lm
$\Phi_{Luminaire}$	22500 lm
η	100.00 %
Luminous efficacy	150.0 lm/W
CCT	5000 K
CRI	80



Polar LDC

Fig. 10. Características principales de la luminaria seleccionada. (Fuente: Base de datos de DiaLux EVO)

En la figura 11 se observa la distribución de la iluminancia en el estacionamiento 2 Norte.

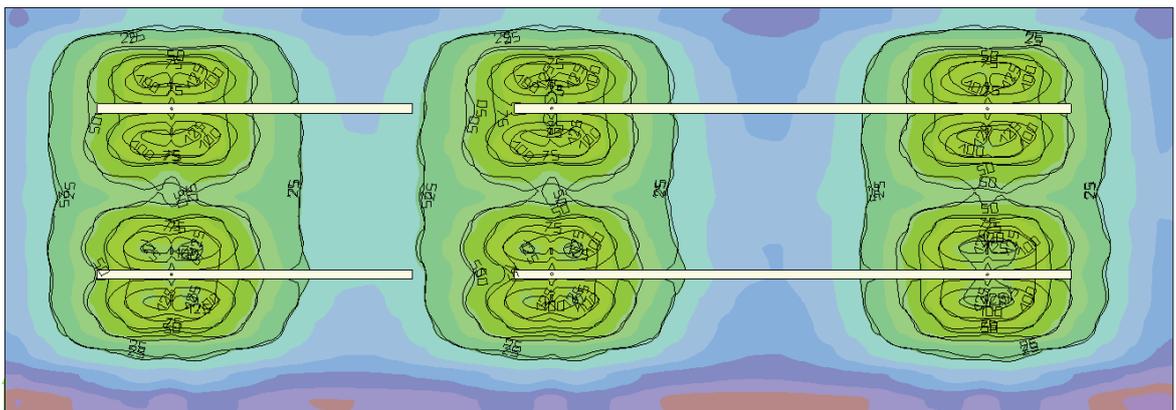


Fig. 11 Vista superior de la distribución de iluminación en el Estacionamiento 2 Norte. (Fuente: elaboración propia)

Los resultados de los cálculos se presentan en un informe en el Anexo D.

Análisis económico

Para el análisis económico de esta propuesta se consideraron solo los costos de montaje y de las lámparas, puesto que se va a aprovechar la instalación ya existente. Se asume un costo de luminaria de \$ 3075.00 [23] y un costo de instalación de \$ 1600.00 por luminaria, de los cuales \$ 500.00 son por mano de obra y \$ 1100.00 por la renta de grúa canastilla. La inversión inicial total sería de \$ 56 100.00.

Como beneficio económico se tienen los ahorros en tarifa, calculados con la diferencia de consumo. Se asumieron 11 horas de operación al día y un costo de la energía de 4.5 \$/kWh para alumbrado público en baja tensión [24]. La tabla 5 muestra los resultados obtenidos.

Tabla 5. Cálculos de ahorro

Parámetros	Luminarios actuales	luminaria propuesta
Potencia (W)	200	150
Cantidad	12	12
Potencia total (W)	2400	1800
Horas de encendido	11	11
Consumo diario (kWh al día)	26.4	19.8
Consumo anual (kWh anual)	9636	7227
Ahorro anual en kWh		2409
Costo del kWh promedio (\$/kWh)		4.5
Ahorro anual en \$		10840.5

Como se observa, el cambio de luminarias representa un ahorro aproximado de \$ 10 840.50 anuales. Con este estimado, se obtiene un valor actual neto en un plazo de 10 años de \$ 9554.71 y un tiempo de recuperación de la inversión de 4 años y 9 meses.

Propuesta de soluciones para los estacionamientos que no cumplen con la normativa

En correspondencia con los resultados obtenidos se proponen una serie de medidas para cada uno de los estacionamientos. En un primer punto, para los estacionamientos que NO CUMPLEN con los valores de iluminación y uniformidad requeridos en la norma, es necesario realizar un estudio que determine la ubicación y cantidad de luminarios a instalar. Se recomienda usar el programa DiaLux para hacer el modelo de distribución de la iluminación y la cantidad de luminarias a instalar.

Una vez conocidos los resultados del modelo, es necesario realizar un estudio de factibilidad técnica económica para determinar la tecnología óptima a implementar en estos estacionamientos.

En los estacionamientos 1 y 2 Sur, se propone realizar una instalación de luminarias específica para los estacionamientos, puesto que las existentes son las luminarias del exterior de los edificios y estas se encuentran muy altas por lo que no alumbran lo suficiente en los estacionamientos.

En el estacionamiento 3 Sur, se debe realizar mantenimiento al poste que se encuentra en la zona entre el edificio S y el edificio P del posgrado, para instalar los focos necesarios, puesto que el mismo se encuentra sin focos.

Se propone poner en operación las luminarias del estacionamiento 4 Sur, puesto que cuando se realizaron las mediciones se encontraban apagadas, (por pandemia), y repetir las mediciones para verificar el cumplimiento de la norma.

En el caso del estacionamiento 1 Norte, es necesario determinar una distribución más apropiada de las luminarias así como determinar cuál tecnología es más conveniente para este caso, dado que una parte tiene mucha iluminación y tiene una región que no tiene luminarias, además se recomienda un cambio de tecnología puesto que no cumple con los valores de DPEA.

Conclusiones

Los objetivos planteados se cumplieron pues se pudo efectuar el análisis de los estacionamientos de la FI a partir de la implementación de la metodología explicada en detalle en la NOM-013-2013 y presentada en este documento. Se concluye que solo un estacionamiento **cumple completamente** con la norma, siendo este, el **Estacionamiento 2 Norte**.

En el caso del **Estacionamiento 1 Sur** se tiene que existen luminarias en los edificios y las vialidades adyacentes que aportan iluminación al estacionamiento. Sin embargo, no es suficiente la iluminación para la actividad requerida según la norma. Por lo que este estacionamiento **no cumple** con los requisitos de iluminación y sobrepasa los valores máximos de DPEA establecidos. El no cumplimiento con la norma para el DPEA se atribuye a que se tomaron en cuenta las luminarias exteriores de los edificios como luminarias del estacionamiento, y estas tienen un alto valor de potencia.

Los valores de DPEA calculados para los **Estacionamientos 2, 3 y 4 Sur** resultaron bajos. **Estos estacionamientos no cumplen con la norma de iluminación**. Esto es debido a que no cuentan con las luminarias correspondientes. Se alumbran con la iluminación exterior de los edificios aledaños, que apuntan hacia los estacionamientos. Es por esto por lo que deben instalarse las luminarias necesarias.

Por último, el **Estacionamiento 1 Norte** está por encima del valor de DPEA establecido en la norma. En este estacionamiento existe un potencial de ahorro, ya que se pueden instalar luminarios de menor potencia y teniendo en cuenta los valores de iluminación requeridos. Este estacionamiento cumple con la iluminancia promedio pero **no cumple con los valores de uniformidad**. Las luminarias instaladas se encuentran concentradas por donde accede el personal y tienen una elevada potencia provocando esto que existan zonas pobremente iluminadas.

La metodología seguida permitió dar un veredicto sobre el estado funcional de los sistemas de luminarias y la iluminación en los estacionamientos de la FI en diversos aspectos. Por medio de la misma fue posible identificar potenciales de ahorro y también determinar dónde se encuentran los problemas en materia de iluminación en los estacionamientos.

A partir de la modelación se evidenció que existe un potencial de ahorro en el **Estacionamiento 2 Norte** al aplicar un cambio de luminarias con una inversión de \$ 56 100.00 y un tiempo de recuperación de la inversión de 4 años y 9 meses.

Existe un potencial sin explotar, pues se cuentan con postes de luminarias cuyas lámparas no existen o está dañadas y no funcionan. Evidentemente esto recae en el deterioro del sistema de iluminación de los estacionamientos en cuestión.

Bibliografía

- [1] INAH, «<https://patrimoniomundialmexico.inah.gob.mx/publico/index.php>,» [En línea]. Available: https://patrimoniomundialmexico.inah.gob.mx/publico/lista_detalle.php?idLista=NQ==#:~:text=El%20Campus%20Central%20declarado%20Patrimonio,hect%C3%A1reas%20totales%20del%20campus%20universitario.. [Último acceso: 2022].
- [2] D. MORILLÓN GÁLVEZ, A. ESCOBEDO IZQUIERDO y I. GARCÍA KERDÁN, Retos y oportunidades para la sustentabilidad energética en edificios de México: Consumo y uso final de energía en edificios residenciales, comerciales y de servicio.
- [3] Y. Martínez Pérez, Evaluación comparativa de indicadores energéticos por uso final de energía eléctrica en edificios de campus universitario : caso de estudio : Ciudad Universitaria UNAM, Ciudad de México: TesisUNAM, 2019.
- [4] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making, Paris: OECD/IEA, 2014.
- [5] Subsecretaría de Planeación y Transición Energética, «BALANCE NACIONAL DE ENERGÍA 2020,» Ciudad de México, 2021.
- [6] CONUEE, «gob.mx,» 2022. [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estados-y-municipios-alumbrado-publico>.
- [7] Secretaría de Energía, Programa Nacional para el Aprovechamiento Sustentable de la Energía, CDMX, 2014.
- [8] CONUEE, «<https://www.gob.mx>,» [En línea]. Available:

<https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/normas-oficiales-mexicanas-en-eficiencia-energetica-iluminacion>.

- [9] CONUEE, «Infografía General del Proyecto Nacional de Eficiencia Energética en Alumbrado Público Municipal,» CONUEE, Ciudad de México.
- [10] gob.mx, «www.gob.mx,» [En línea]. Available: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/451401/Infograf_a_Pueblo_Viejo__Veracruz_050419.pdf. [Último acceso: 2022].
- [11] CONUEE, «NORMA Oficial Mexicana NOM-007-ENER-2014, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en edificios no residenciales.,» *DOF*, 21 julio 2014.
- [12] SENER, «NOM-017-ENER/SCFI-2012, Eficiencia energética y requisitos de seguridad de,» *DOF*, pp. 1-24, 2012.
- [13] CONUEE, «NOM-028-ENER-2017, EFICIENCIA ENERGÉTICA DE LÁMPARAS PARA USO GENERAL. LÍMITES Y MÉTODOS DE PRUEBA,» *DOF*, CDMX, 2017.
- [14] CONUEE, «NOM-031-ENER-2012, Eficiencia energética para luminarios con diodos emisores de luz (leds) destinados a vialidades y áreas exteriores públicas. Especificaciones y métodos de prueba.,» *DOF*, CDMX, 2012.
- [15] CCNNPURRE, «NORMA Oficial Mexicana NOM-030-ENER-2016, Eficacia luminosa de lámparas de diodos emisores de luz (led) integradas para iluminación general. Límites y métodos de prueba.,» *DOF*, 2017.
- [16] CONUEE, «NORMA Oficial Mexicana NOM-013-ENER-2013, Eficiencia energética para sistemas de alumbrado en vialidades.,» *DOF*, 14 Junio 2013.
- [17] Electricasa, «<https://www.electricasas.com>,» [En línea]. Available:

<https://www.electricasas.com/lamparas-fluorescentes/>.

- [18] J. M. Hernández, «Curso de Ahorro de Energía en Iluminación,» CDMX, 2021.
- [19] G. Carrillo, «Las lámparas de descarga de alta intensidad (HID),» 2016. [En línea]. Available: <http://www.transmagneca.com/wordpress/las-lamparas-de-descarga-de-alta-intensidad-hid/>.
- [20] S. Forrest, «APS March Meeting Abstract,» de *How Organic Light Emitting Diodes Revolutionized Displays (and maybe lighting)*, 2018, pp. L32,003.
- [21] Facultad de Ingeniería, «www.ingenieria.unam.mx,» [En línea]. Available: <https://www.ingenieria.unam.mx/bibliotecas/ubicacion.php>.
- [22] Google, «maps.google.com/,» [En línea]. Available: <https://www.google.com/maps/@19.3295398,-99.1810565,1647m/data=!3m1!1e3>. [Último acceso: 25 10 2021].
- [23] Mercado Libre, «www.mercadolibre.com.mx,» [En línea]. Available: https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-1428469645-luminaria-vial-led-150w-85-277v-100-lmw-6000k-_JM#position=7&search_layout=grid&type=item&tracking_id=ae392827-0c3d-43c3-97e9-a445cf29465d.
- [24] CFE, «www.cfe.mx,» [En línea]. Available: <https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCRENegocio/Tarifas/AlumbradoPublicoBT.aspx>.
- [25] INTERNATIONAL ENERGY AGENCY, *Energy Efficiency Indicators: Essentials for Policy Making*, Paris: © OECD/IEA, 2014, 2014.
- [26] Secretaría del Trabajo y Previsión Social, «NORMA Oficial Mexicana NOM-025-STPS-2008, Condiciones de iluminación en los centros de trabajo.,»

DOF, Ciudad de México, 2008.

- [27] Universidad Politecnica de Catalunya, «Curso On-line de Iluminación,» UPC, [En línea]. Available: <https://grlum.dpe.upc.edu/manual/sistemasIluminacion-fuentesDeLuz-LamparasIncandescentes.php>.
- [28] CONUEE, «www.gob.mx,» [En línea]. Available: <https://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/estados-y-municipios-proyecto-nacional-de-eficiencia-energetica-en-alumbrado-publico-municipal>.
- [29] Comercializadora de Productos Ferroeléctricos e iluminación, «www.comprofeel.mx,» [En línea]. Available: <http://comprofeel.mx/superpostes/>.

Anexos

Anexo A. Luminarios de los estacionamientos

A1 Luminarios en el Estacionamiento 1 Sur.



Luminarios de LED tipo 1. En la imagen superior se encuentra apagado y en la imagen inferior encendido.



Reflector de LED tipo 2.



Luminario de LED tipo 3.



Luminario de poste.

A2 Luminarios del Estacionamiento 2 Sur.



Reflector de LED.



Luminario de poste.

A3 Luminarios del Estacionamiento 3 Sur.



Reflector de LED.



Luminario de poste, que en este caso no tiene luminario instalado.

A4 Luminarios del Estacionamiento 4 Sur.



Luminario de poste



Luminario de poste apagado durante la noche.

A5 Luminarios del Estacionamiento 1 Norte



Luminario de poste



Reflector de LED.

A6 Luminarios del Estacionamiento 2 Norte



Luminario de poste

Anexos B Tablas de cálculos de iluminancia en los estacionamientos

Tabla B1 Iluminancia en el Estacionamiento 1 Sur.

Región del estacionamiento	Iluminancia mínima (Lm)	Iluminancia promedio (Lm)	U_{max} (Relación entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima) redondeada al entero	¿Se cumple con la norma E_{prom} ?	¿Se cumple con la norma UNIFORMIDAD?
1	19	25	1	SI	SI
2	22	30	1	SI	SI
3	21	29	1	SI	SI
4	15	22	1	NO	SI
5	1	4	4	NO	SI
6	8	11	1	NO	SI
7	8	13	2	NO	SI
8	16	22	1	NO	SI

Tabla B2 Iluminancia en el Estacionamiento 2 Sur.

Región del estacionamiento	Iluminancia mínima (Lm)	Iluminancia promedio (Lm)	U_{max} (Relación entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima) redondeada al entero	¿Se cumple con la norma E_{prom} ?	¿Se cumple con la norma UNIFORMIDAD?
1	15	23	2	NO	SI
2	2	9	4	NO	NO
3	0	4	36	NO	NO

Tabla B3 Iluminancia en el Estacionamiento 3 Sur.

Región del estacionamiento	Iluminancia mínima (Lm)	Iluminancia promedio (Lm)	U_{max} (Relación entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima) redondeada al entero	¿Se cumple con la norma E_{prom} ?	¿Se cumple con la norma UNIFORMIDAD?
1	4	9	2	NO	SI
2	5	13	3	NO	SI
3	3	9	3	NO	SI
4	2	16	8	NO	NO
5	3	9	3	NO	SI
6	1	12	12	NO	NO
7	3	9	3	NO	SI
8	1	8	8	NO	NO
9	3	20	7	NO	NO
10	1	10	10	NO	NO
11	4	93	23	SI	NO
12	2	28	14	SI	NO
13	3	66	22	SI	NO

Tabla B4 Iluminancia en el Estacionamiento 4 Sur

Región del estacionamiento	Iluminancia mínima (Lm)	Iluminancia promedio (Lm)	U_{max} (Relación entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima) redondeada al entero	¿Se cumple con la norma E_{prom} ?	¿Se cumple con la norma UNIFORMIDAD?
1	1	4	4	NO	SI
2	1	4	4	NO	SI

Tabla B5 Iluminancia en el Estacionamiento 1 Norte.

Región del estacionamiento	Iluminancia mínima (Lm)	Iluminancia promedio (Lm)	U_{max} (Relación entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima) redondeada al entero	¿Se cumple con la norma E_{prom} ?	¿Se cumple con la norma UNIFORMIDAD?
1	6	28	5	SI	NO
2	0	49	485	SI	NO
3	0	45	453	SI	NO
4	11	39	4	SI	SI
5	3	39	13	SI	NO

Tabla B6 Iluminancia en el Estacionamiento 2 Norte.

Región del estacionamiento	Iluminancia mínima (Lm)	Iluminancia promedio (Lm)	U_{max} (Relación entre la iluminancia promedio y la iluminancia mínima) redondeada al entero	¿Se cumple con la norma E_{prom} ?	¿Se cumple con la norma UNIFORMIDAD?
1	18	39	2	SI	SI
2	16	27	2	SI	SI
3	6	15	3	NO	SI
4	3	15	5	NO	NO
5	6	13	2	NO	SI
6	11	22	2	NO	SI
7	12	37	3	SI	SI
8	8	19	2	NO	SI
9	14	22	2	NO	SI
10	10	40	4	SI	SI
11	8	31	4	SI	SI
12	8	22	3	NO	SI
13	4	19	5	NO	NO
14	8	26	3	SI	SI
15	12	28	2	SI	SI

Anexos C Tablas de mediciones de iluminación de los estacionamientos

Tabla C1 Medición de la iluminancia Estacionamiento 1 Sur

regiones	ESTACIONAMIENTO 1 sur				
	VALOR (LUX)		regiones	VALOR (LUX)	
1	25	P1	5	2	P1
	23	P2		3	P2
	19	P3		6	P3
	30	P4		4	P4
	28	P5		5	P5
	26	P6		1	P6
	23	P7		6	P7
	24	P8		7	P8
	21	P9		1	P9
2	30	P1	6	14	P1
	35	P2		10	P2
	34	P3		11	P3
	28	P4		9	P4
	32	P5		8	P5
	29	P6		13	P6
	30	P7		12	P7
	25	P8		14	P8
	22	P9		12	P9
3	23	P1	7	10	P1
	24	P2		14	P2
	21	P3		12	P3
	30	P4		15	P4
	35	P5		16	P5
	34	P6		9	P6
	25	P7		8	P7
	28	P8		12	P8
	24	P9		9	P9
4	21	P1	8	16	P1
	25	P2		21	P2
	18	P3		22	P3
	18	P4		17	P4
	26	P5		19	P5
	21	P6		19	P6
	15	P7		32	P7
	27	P8		32	P8

ESTACIONAMIENTO 1 sur				
regiones	VALOR (LUX)		regiones	VALOR (LUX)
	15	P9		P9

Tabla C2 Medición de la iluminancia Estacionamiento 2 Sur

ESTACIONAMIENTO 2 sur		
regiones	VALOR (LUX)	
1	18	P1
	19	P2
	35	P3
	23	P4
	21	P5
	31	P6
	15	P7
	19	P8
	27	P9
2	9	P1
	11	P2
	13	P3
	7	P4
	14	P5
	2	P6
	4	P7
	9	P8
	3	P9
3	19	P1
	5	P2
	7	P3
	5	P4
	1	P5
	1	P6
	4	P7
	0.1	P8
	1	P9

Tabla C3 Medición de la iluminancia Estacionamiento 3 Sur

	ESTACIONAMIENTO 3 sur	
regiones	VALOR (LUX)	
1	32	P1
	17	P2
	9	P3
	8	P4
	6	P5
	4	P6
	4	P7
	9	P8
	4	P9
2	19	P1
	8	P2
	7	P3
	21	P4
	19	P5
	5	P6
	9	P7
	10	P8
5	P9	
3	3	P1
	8	P2
	6	P3
	10	P4
	7	P5
	11	P6
	18	P7
	15	P8
	7	P9
4	25	P1
	22	P2
	9	P3
	21	P4
	25	P5
	4	P6
	2	P7
	6	P8
	13	P9
5	17	P1

	ESTACIONAMIENTO 3 sur	
regiones	VALOR (LUX)	
	17	P2
	12	P3
	18	P4
	7	P5
	5	P6
	4	P7
	3	P8
	4	P9
6	15	P1
	12	P2
	25	P3
	23	P4
	14	P5
	7	P6
	5	P7
	2	P8
7	1	P9
	3	P1
	5	P2
	7	P3
	22	P4
	9	P5
	8	P6
	7	P7
8	9	P8
	6	P9
	4	P1
	1	P2
	3	P3
	3	P4
	11	P5
	9	P6
9	8	P7
	13	P8
	19	P9
	15	P1
	16	P2
	4	P3
	3	P4

	ESTACIONAMIENTO 3 sur	
regiones	VALOR (LUX)	
	4	P5
	15	P6
	13	P7
	50	P8
	104	P9
10	52	P1
	23	P2
	1	P3
	2	P4
	2	P5
	6	P6
	6	P7
	7	P8
10	P9	
11	4	P1
	30	P2
	8	P3
	4	P4
	220	P5
	6	P6
	7	P7
	250	P8
	8	P9
12	2	P1
	4	P2
	12	P3
	3	P4
	27	P5
	15	P6
	2	P7
	130	P8
	13	P9
13	3	P1
	300	P2
	10	P3
	6	P4
	91	P5
	12	P6
	5	P7

	ESTACIONAMIENTO 3 sur	
regiones	VALOR (LUX)	
	15	P8
	12	P9

Tabla C4 Medición de la iluminancia Estacionamiento 4 Sur

	ESTACIONAMIENTO 4 sur (biblioteca)	
regiones	VALOR (LUX)	
1	2	P1
	3	P2
	5	P3
	4	P4
	1	P5
	1	P6
	5	P7
	8	P8
	12	P9
2	2	P1
	5	P2
	9	P3
	3	P4
	5	P5
	4	P6
	2	P7
	1	P8
	3	P9

Tabla C5 Medición de la iluminancia Estacionamiento 1 Norte

	ESTACIONAMIENTO 1 NORTE principal	
regiones	VALOR (LUX)	
1	6	P1
	10	P2
	11	P3
	36	P4
	63	P5
	12	P6
	9	P7
	12	P8
	33	P9
2	98	P1
	13	P2
	13	P3
	24	P4
	73	P5
	120	P6
	0.1	P7
	0.1	P8
	59	P9
3	89	P1
	21	P2
	0.1	P3
	0.1	P4
	64	P5
	82	P6
	16	P7
	64	P8
	30	P9
4	41	P1
	70	P2
	11	P3
	45	P4
	40	P5
	40	P6
	46	P7
	14	P8
	27	P9
5	54	P1

	ESTACIONAMIENTO 1 NORTE principal	
regiones	VALOR (LUX)	
	81	P2
	120	P3
	17	P4
	25	P5
	44	P6
	21	P7
	18	P8
	3	P9
6	65	P1
	30	P2
	34	P3
	4	P4
	2	P5
	52	P6
	39	P7
	9	P8
	3	P9
7	1	P1
	29	P2
	20	P3
	8	P4
	0.1	P5
	1	P6
	18	P7
	11	P8
4	P9	

Tabla C6 Medición de la iluminancia Estacionamiento 2 Norte

ESTACIONAMIENTO 2 NORTE		
regiones	VALOR (LUX)	punto
1	19	P1
	32	P2
	50	P3
	40	P4
	60	P5
	34	P6
	31	P7
	18	P8
	30	P9
2	39	P1
	40	P2
	31	P3
	24	P4
	25	P5
	16	P6
	23	P7
	26	P8
	23	P9
3	18	P1
	19	P2
	6	P3
	9	P4
	21	P5
	15	P6
	15	P7
	11	P8
	14	P9
4	25	P1
	10	P2
	12	P3
	3	P4
	12	P5
	7	P6
	12	P7
	43	P8
	10	P9
5	14	P1

ESTACIONAMIENTO 2 NORTE		
regiones	VALOR (LUX)	punto
	13	P2
	15	P3
	12	P4
	15	P5
	20	P6
	6	P7
	7	P8
	8	P9
6	13	P1
	11	P2
	22	P3
	43	P4
	28	P5
	12	P6
	18	P7
	25	P8
	12	P9
7	15	P1
	24	P2
	12	P3
	31	P4
	51	P5
	49	P6
	46	P7
	33	P8
	39	P9
8	8	P1
	17	P2
	19	P3
	34	P4
	23	P5
	22	P6
	15	P7
	8	P8
	13	P9
9	15	P1
	21	P2
	18	P3
	14	P4

ESTACIONAMIENTO 2 NORTE		
regiones	VALOR (LUX)	punto
	27	P5
	16	P6
	22	P7
	26	P8
	40	P9
10	29	P1
	41	P2
	15	P3
	10	P4
	45	P5
	61	P6
	60	P7
	49	P8
32	P9	
11	18	P1
	12	P2
	24	P3
	50	P4
	53	P5
	30	P6
	32	P7
	10	P8
	8	P9
12	17	P1
	27	P2
	37	P3
	29	P4
	27	P5
	8	P6
	10	P7
	16	P8
	18	P9
13	25	P1
	18	P2
	15	P3
	4	P4
	25	P5
	20	P6
	19	P7

ESTACIONAMIENTO 2 NORTE		
regiones	VALOR (LUX)	punto
	20	P8
	13	P9
14	18	P1
	8	P2
	18	P3
	38	P4
	33	P5
	52	P6
	25	P7
	49	P8
	29	P9
15	30	P1
	25	P2
	22	P3
	23	P4
	25	P5
	65	P6
	12	P7
	17	P8
	31	P9

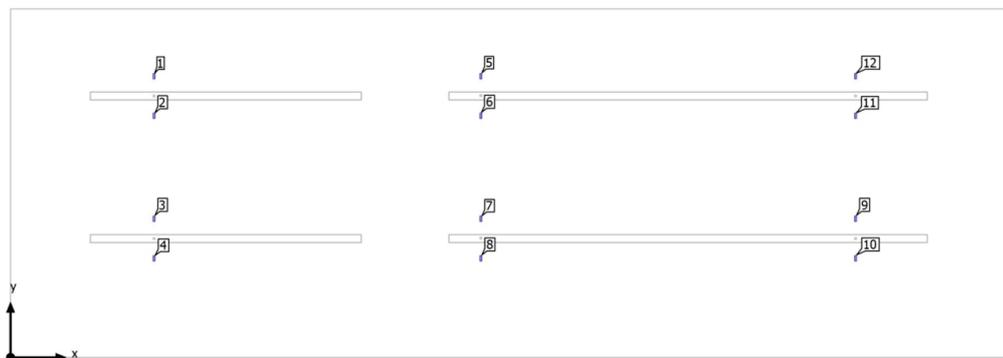
ANEXO D Informe de los resultados de la Modelación en DiaLux EVO

Luminaire list

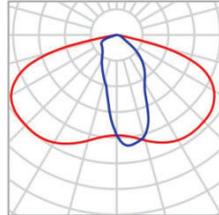
Φ_{total} 270000 lm	P_{total} 1800.0 W	Luminous efficacy 150.0 lm/W
-----------------------------	-------------------------	---------------------------------

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
12	VARTON	V1-S1-70289-40L32-6515050	Street lighting	150.0 W	22500 lm	150.0 lm/W
		Uran 2.0 Road 150W 5000K				

Luminaire layout plan



Luminaire layout plan



Manufacturer	VARTON	P	150.0 W
Article No.	V1-S1-70289-40L32-6515050 Uran 2.0 Road 150W 5000K	Φ Luminaire	22500 lm
Article name	Street lighting		
Fitting	1x LED		

Individual luminaires

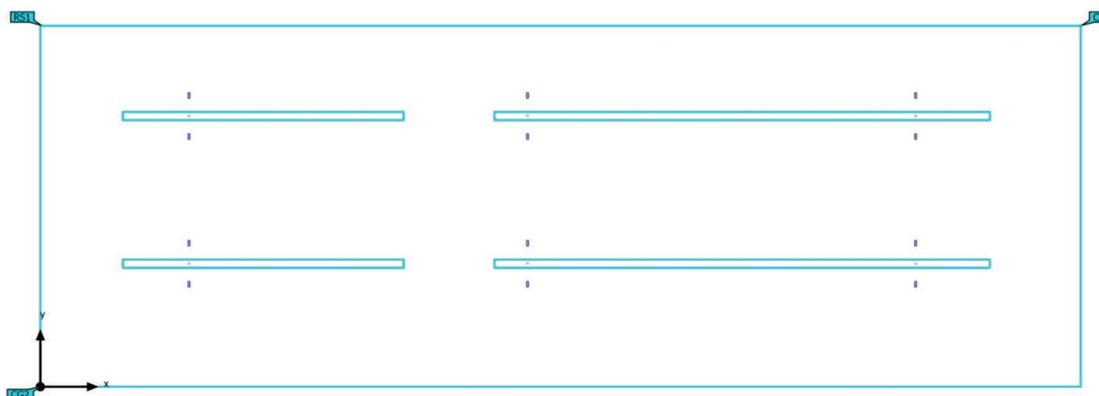
X	Y	Mounting height	Luminaire
18.000 m	35.500 m	8.000 m	1
18.000 m	30.500 m	8.000 m	2
18.000 m	17.500 m	8.000 m	3
18.000 m	12.500 m	8.000 m	4
59.000 m	35.500 m	8.000 m	5
59.000 m	30.500 m	8.000 m	6
59.000 m	17.500 m	8.000 m	7
59.000 m	12.500 m	8.000 m	8
106.000 m	17.500 m	8.000 m	9
106.000 m	12.500 m	8.000 m	10
106.000 m	30.500 m	8.000 m	11
106.000 m	35.500 m	8.000 m	12

Luminaire list

Φ_{total} 270000 lm	P_{total} 1800.0 W	Luminous efficacy 150.0 lm/W
------------------------------------	--------------------------------	---------------------------------

pcs.	Manufacturer	Article No.	Article name	P	Φ	Luminous efficacy
12	VARTON	V1-S1-70289-40L32-6515050 Uran 2.0 Road 150W 5000K	Street lighting	150.0 W	22500 lm	150.0 lm/W

Calculation objects



Calculation objects

Surface result objects

Properties	Ø	min	max	g ₁	g ₂	Index
Surface result Estacionamiento 1 Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m	36.2 lx	1.37 lx	136 lx	0.038	0.010	RS1
Surface result Estacionamiento 1 Luminance Height: 0.000 m	2.31 cd/m ²	0.087 cd/m ²	8.68 cd/m ²	0.038	0.010	RS1

Calculation surfaces

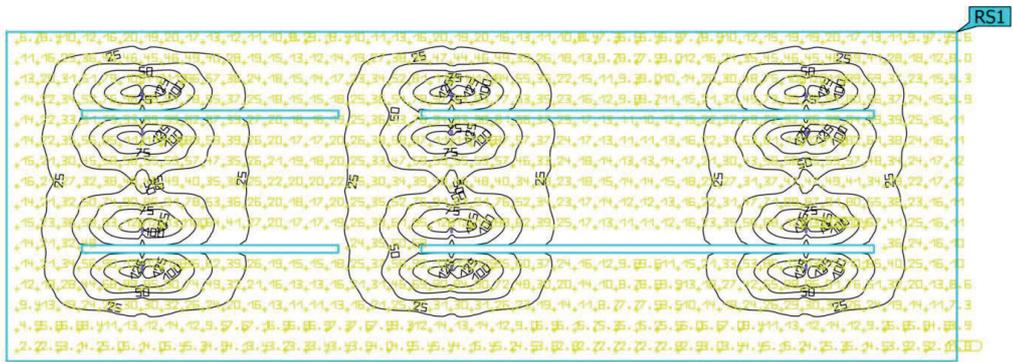
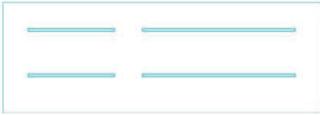
Properties	Ē	E _{min}	E _{max}	g ₁	g ₂	Index
Calculation surface 2 Perpendicular illuminance Height: 0.000 m	35.9 lx	1.82 lx	135 lx	0.051	0.013	CG1
Calculation surface 2 Custom illuminance Rotation: X:0.0°, Y:0.0°, Z:0.0°, Height: 0.000 m	35.9 lx	1.82 lx	135 lx	0.051	0.013	CG1
Calculation surface 5 Perpendicular illuminance Height: 0.000 m	35.9 lx	1.82 lx	135 lx	0.051	0.013	CG2

Utilisation profile: Parking areas, Heavy traffic, e.g. parking areas of schools, churches, major shopping centres, major sports and multipurpose building complexes

Notes on planning:

The calculation of the results is based purely on the direct light component. The effect of reflected light has not been considered.

Surface result Estacionamiento 1



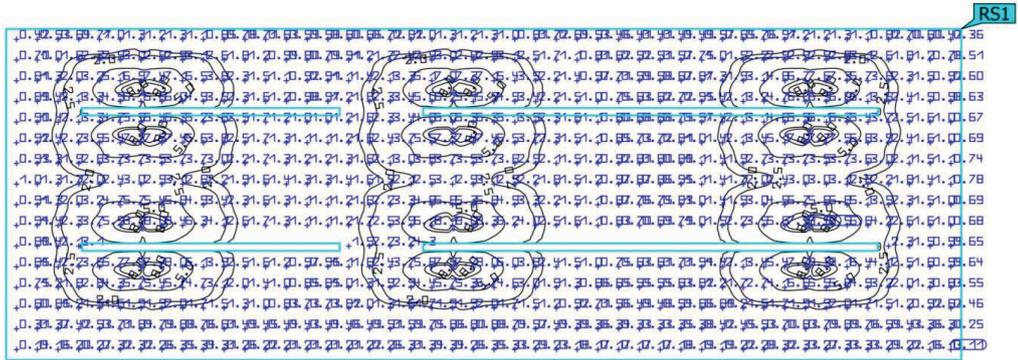
Properties	\bar{E}	E_{min}	E_{max}	g_1	g_2	Index
Surface result Estacionamiento 1 Perpendicular illuminance (adaptive) Height: 0.000 m	36.2 lx	1.37 lx	136 lx	0.038	0.010	RS1

Utilisation profile: Parking areas, Heavy traffic, e.g. parking areas of schools, churches, major shopping centres, major sports and multipurpose building complexes

Notes on planning:

The calculation of the results is based purely on the direct light component. The effect of reflected light has not been considered.

Surface result Estacionamiento 1



Properties	Ø	min	max	g ₁	g ₂	Index
Surface result Estacionamiento 1 Luminance Height: 0.000 m	2.31 cd/m ²	0.087 cd/m ²	8.68 cd/m ²	0.038	0.010	RS1

Utilisation profile: Parking areas, Heavy traffic, e.g. parking areas of schools, churches, major shopping centres, major sports and multipurpose building complexes

Notes on planning:

The calculation of the results is based purely on the direct light component. The effect of reflected light has not been considered.