

Universidad Complutense de Madrid

Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera



Contaminación lumínica en la UCM (2010)

II. Mapa de la Iluminación en la UCM

Roque Ruiz Carmona

Trabajo académicamente dirigido
por el profesor Jaime Zamorano
curso 2009-2010

ÍNDICE

1. Introducción	3
2. Objetivos	4
3. Instrumentos y proceso de medición.	
3.1. Montaje para la adquisición de datos	5
3.2. Observaciones	6
3.3. Tratamiento de los datos	6
4. Resultados	
4.1. Escalas	7
4.2. Mapas de medidas	
➤ Campus de Ciudad Universitaria	7
➤ Campus de Somosaguas	16
4.3. Conclusiones	18
5. Comparación con otros estudios	
5.1. Comparación con medidas de Alejandro Sánchez	19
5.2. Imagen desde la ISS	21
6. Agradecimientos	22
7. ANEXOS	
ANEXO A: Fotografías del trabajo de campo	23
ANEXO B: Estudio fotográfico	26
ANEXO C: Niveles de Servicio en Vías Urbanas	32

1. INTRODUCCIÓN

Durante el curso 2008-2009 se realizó un estudio de la iluminación en diversos puntos de la Ciudad Universitaria motivado por la preocupación sobre la contaminación lumínica que afecta de forma significativa a las observaciones astronómicas realizadas desde el Observatorio UCM, situado en la Facultad de Ciencias Físicas en el Campus de Moncloa (Ciudad Universitaria) de la UCM. En este Trabajo Académicamente Dirigido por el prof. Zamorano y realizado por Pablo Cepero se fijaron los métodos adecuados para realizar las medidas así como las herramientas necesarias y se midieron algunas zonas de interés. El trabajo tenía vocación de investigación a largo plazo donde se pudiese observar y corregir en su caso los excesos y analizar su evolución temporal.

Durante el presente curso se ha continuado esta investigación con el objetivo primordial de medir los cambios que la instalación del nuevo alumbrado público pudiera tener sobre la contaminación lumínica en la Universidad Complutense.

El trabajo de campo consistente en la toma de medidas ha sido realizado por un equipo de dos estudiantes. En la presente memoria que presenta Roque Ruiz Carmona “*Contaminación lumínica en la UCM (2010) II. Mapa de la iluminación en la Universidad Complutense*” se describe un nuevo método de toma de datos de forma automatizada que ha permitido realizar un mapa más amplio y completo de la iluminación en la UCM incluyendo una extensión al campus de Somosaguas, así como los resultados obtenidos. En una memoria complementaria a ésta presentada por Isabel Rodríguez Herranz “*Contaminación lumínica en la UCM (2010) I. Evolución de la iluminación en la Universidad Complutense*” se describen los métodos, medidas y conclusiones del trabajo sobre la evolución de la iluminación en la UCM que incluye una extensión en la toma de datos a otras zonas de la Ciudad Universitaria siguiendo la metodología estándar del trabajo del pasado curso.

2. OBJETIVOS

Siguiendo la línea de estudio del Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera pretendemos continuar los trabajos sobre contaminación lumínica en la UCM. Dada la importancia de un alumbrado público eficiente, tanto por su influencia en las observaciones astronómicas que se realizan en la Facultad de CC. Físicas como por el derroche energético y económico que tiene lugar cada noche, nuestro estudio quiere evaluar la situación actual y las posibles mejoras que se han conseguido al renovar parte del alumbrado público en el campus. Un estudio riguroso de la evolución ha sido posible, sin embargo, en pocos casos dado que los trabajos de instalación no han finalizado todavía.

El trabajo de Pablo Cepero en 2009, ha marcado unas directrices claras con las que guiarnos al principio, entre las que destaca el método de captura de datos. El llamado método de los nueve puntos, especificado en la ITC-EA-07 del Reglamento de eficiencia energética del alumbrado exterior, es un método estándar y preciso con el que se obtienen resultados que se pueden tratar fácilmente para sacar conclusiones, como explica Isabel Rodríguez en su memoria. No obstante, el trabajo de campo para coleccionar los datos requiere tiempo y, al aplicarse sobre un par de luminarias, queda restringido a una zona localizada de pequeña extensión.

El objetivo específico de este trabajo es construir un mapa global que dé cuenta de la situación de la contaminación lumínica en la UCM, en los campus de Ciudad Universitaria y Somosaguas. Tal mapa dará una visión rápida de la eficiencia lumínica según la zona y podrá servir de base para estudios más precisos si éstos se requieren. Para la elaboración de los mapas desarrollaremos un método de medida automático, ideado por Alejandro Sánchez de Miguel, doctorando del Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera de la Facultad de CC. Físicas de la UCM, cuya principal ventaja es que permite el estudio de amplias extensiones invirtiendo mucho menos tiempo.

3. INSTRUMENTOS Y PROCESO DE MEDICIÓN

Para la recogida de datos hemos utilizado un luxómetro con sensor de luz PCE – 174 y un GPS Garmin eTrex Legend Hcx, incluyendo sus paquetes de software. Ambos dispositivos han de conectarse a un ordenador portátil y se disponen en el vehículo con el que se hacen las medidas. Además, hemos recogido fotografías para documentar adecuadamente el trabajo de campo con diversas cámaras fotográficas.

3.1. MONTAJE PARA LA ADQUISICIÓN DE DATOS

El luxómetro permite la captura de un dato por segundo si el aparato está conectado al ordenador y se está ejecutando el programa de adquisición de datos. Nuestras medidas se han tomado en el rango de hasta 400,0 lux con una resolución de 0,1 lux. Según especificaciones del fabricante la precisión es del 5% del valor de la medida y su reproducibilidad se estima en un 3%. El sensor de luz se fija con seguridad en la parte superior del vehículo, se conecta al luxómetro y éste al ordenador que viaja en el interior.



El GPS guarda las coordenadas geográficas, entre otra información, cada segundo. De esta manera podremos luego localizar la medida tomada por el luxómetro en un mapa. Las coordenadas geográficas se guardan con una precisión de milésima de minuto de arco, 0'.001, tanto en latitud como longitud. El fabricante garantiza que los errores en posición no superan los 10 metros para los Estados Unidos de América.

En realidad, no es necesario que el GPS esté conectado al ordenador mientras se recogen datos. Para optimizar el tiempo de autonomía del ordenador se puede guardar la ruta en el GPS y volcarla al ordenador periódicamente, antes de agotar la memoria del GPS. En cualquier caso con la memoria disponible se podría medir durante aproximadamente unas tres horas.

Para las primeras medidas hemos utilizado un coche Volkswagen Polo como vehículo. Sin embargo, las zonas parquizadas quedaban sin estudiar porque era imposible acceder a ellas. Además el interior del Campus de Somosaguas es completamente peatonal, de manera que extender las medidas a dicho campus requería un método adicional de adquisición de datos. Alejandro Sánchez de Miguel, doctorando del Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera de la Facultad de CC. Físicas de la Universidad Complutense, propuso originariamente acoplar los aparatos en una bicicleta. No obstante, los primeros intentos con la bicicleta daban muchos problemas y para asegurar la estabilidad modificamos su idea, acoplando finalmente los aparatos en un carrito de cuatro ruedas. El ordenador se aseguraba en una plataforma de plástico y el luxómetro, el sensor de luz y el GPS se fijaban a un mástil previamente instalado en el carro.

3.2. OBSERVACIONES

La altura del sensor de luz no coincide exactamente con los 1,50 metros establecidos por el Reglamento de Eficiencia Energética en instalaciones del alumbrado exterior (<http://www.boe.es/boe/dias/2008/11/19/pdfs/A45988-46057.pdf>), pero los resultados han mostrado que no tiene una influencia apreciable. En nuestro caso, la altura del coche es 1,48 m mientras que la del mástil del carro era aproximadamente 1,75 m. El exceso de altura en el carro no es casual; éste debe ser empujado y es fácil interponerse proyectando una sombra sobre el sensor de luz.

Otro aspecto relativo a la posición del sensor es la horizontalidad, recomendada por dicho Reglamento. Aunque en la parte superior del coche y del carro se asegura el sensor sobre una base horizontal o prácticamente horizontal, mantener esta propiedad depende de la firmeza y estado del terreno sobre el que se realizan las medidas. Los baches y resaltes y la inclinación de las calles podrían comprometer la horizontalidad del sensor. En el caso del carro este efecto podría ser mayor ya que además las medidas no se realizan sobre el asfalto sino por zonas parquizadas y aceras donde podemos encontrar incluso escaleras. De nuevo, una prueba inclinando el carro sin desplazarlo no mostró una variabilidad apreciable en el luxómetro.

A este respecto, son mucho más importantes las influencias de las fases lunares, las condiciones climatológicas o el estado particular del alumbrado público la noche de la medición. El alumbrado público en Ciudad Universitaria está siendo renovado y se han producido numerosos cortes de electricidad en las luminarias instaladas. La recogida de datos se llevó a cabo desde el 14 de mayo hasta el 20 de junio de 2010.

3.3. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

En primer lugar, se deben sincronizar los datos de luminosidad con las coordenadas geográficas. Para ello, se aprovechan programas informáticos que sincronizan la hora del ordenador con la de los satélites vía Internet. Como el luxómetro utiliza automáticamente la hora del ordenador en el registro de los datos es fácil identificar parejas de coordenadas geográficas con un valor de luminosidad. No obstante, conviene asegurarse de la correspondencia realizando algún comprobación adicional porque comenzar la medición en ambos aparatos al mismo tiempo puede dar problemas. Por ejemplo, podemos aguardar unos segundos con los aparatos midiendo de modo que el cambio en el luxómetro deberá coincidir con el inicio del movimiento en el GPS. Se pueden aprovechar también las paradas en los semáforos, apagar los aparatos unos diez segundos después de detener el vehículo y anotar la hora en la que pasamos por un lugar extremadamente iluminado o por un lugar fácilmente reconocible.

Una vez sincronizados, se disponen los datos en hojas de cálculo. El tratamiento consiste en expresar las coordenadas en grados, tomando como mínimo diez cifras decimales, y utilizar el punto para marcar las cifras decimales a pesar de que las hojas de cálculo lo reconocerán como separador de miles. Este tratamiento puede acarrear conflictos según el sistema operativo que se esté usando. Las hojas de cálculo se importan al programa GE-Graph en la versión v 2.2.2a, que permite interpretar los valores del luxómetro y asignarle un color en una escala determinada. Los puntos se visualizan con Google Earth; obteniéndose un resultado gráfico que permite sacar conclusiones con gran rapidez.

Algunos problemas específicos que hemos encontrado se comentan a continuación. En algunos lugares, sobre todo cerca de edificios grandes, el GPS pierde momentáneamente la señal y no se guardan las coordenadas correctas. Con poca frecuencia alguno de los dos aparatos no guardan el dato de un instante concreto, desfasando la serie. La lectura de coordenadas en el programa Google Earth requiere más precisión en el GPS; aunque según el programa la precisión que obtenemos es aproximadamente de 1,70 m en latitud y 1,50 m en longitud la realidad es que algunos puntos aparecen en posiciones incorrectas.

4. RESULTADOS

Es importante señalar que al circular, no se pueden seleccionar con precisión los puntos que se desean medir como se hace con el método de los nueve puntos y que es prácticamente imposible reproducir una primera toma de medidas pasando otra vez por la misma calle. No obstante, ello no quiere decir que la reproducibilidad de las medidas sea impracticable, sino más bien que la interpretación de los resultados deberá hacerse con referencia a una zona más amplia. El análisis cuantitativo de estos datos automáticos es un trabajo muy laborioso, si se pretenden obtener magnitudes como los deslumbramientos, uniformidades y luminancias especificados en el Reglamento de Eficiencia Energética antes reseñado. Pero, según veremos, con un sólo vistazo se puede dilucidar las zonas tanto con exceso de iluminación como con defecto.

A continuación presentamos los resultados obtenidos en forma de mapa, incluyendo las medidas con coche y con el carro. Unas y otras se representan sobre los mapas como círculos y pentágonos coloreados según el nivel de luminosidad del punto.

4.1. ESCALAS

El rango de las capturas del luxómetro va desde los 0 hasta los 370 lux. De esta manera se hizo necesario separar los datos a intervalos de 50 lux para aplicarles escalas diferentes, con el fin de que las diferencias sean fácilmente apreciables. Se han utilizado las siguientes escalas:

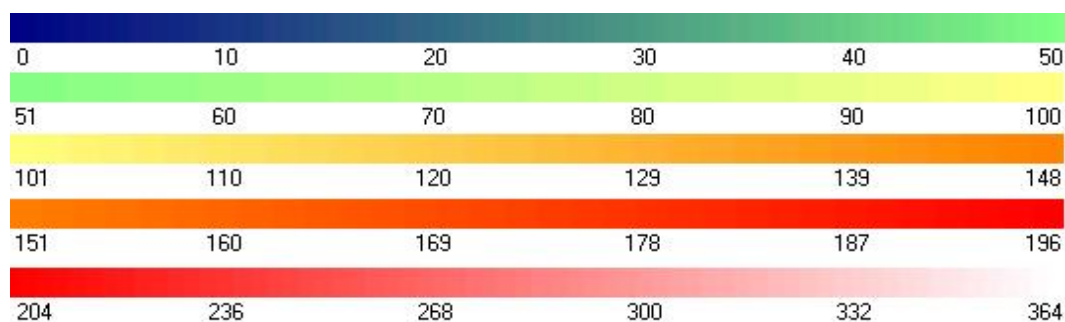


Figura 1. Escalas de luminosidad en los mapas (lux)

Las escalas se han construido eligiendo los colores extremos entre la pequeña gama de colores predefinidos en el programa GE Graph contemplando la posibilidad de que trabajos futuros puedan compararse rápida y fácilmente con nuestros resultados. Los resultados que superan los 100 lux suponen un pequeño porcentaje de la muestra, apenas un 3% de los más de 28000 puntos que se midieron.

4.2. MAPAS DE MEDIDAS

➤ Campus de Ciudad Universitaria

Comenzamos con una imagen de la Facultad de CC.Químicas (Imagen 4.1), que vamos a utilizar para comentar un poco más acerca los posibles errores en la posición de las medidas. Sobre el mapa se han marcado dos series de datos, los círculos corresponden con una serie tomada con el coche y los pentágonos, a otra tomada con el carro. Los pentágonos deberían aparecer muy cerca de la fachada y los círculos deberían aparecer en el medio de la calzada, sin embargo el GPS no tiene precisión suficiente en esta zona como para colocarlos apropiadamente. Como explicamos

anteriormente, esto ocurre en zonas concretas donde se pierde la señal del satélite.

Los detalles a destacar en cuanto a iluminación son los altos niveles de la fachada y el lateral de la Facultad de CC. Químicas. Estos niveles se alcanzan debido únicamente a los focos instalados en la fachada, que son demasiado numerosos. Aún así, se han instalado nuevas luminarias en la acera que aún no funcionan. Hay además una medida alta por detrás de la Facultad debajo de un corredor, debido a un foco muy luminoso que se mantiene encendido toda la noche. La fachada de la Facultad de CC. Físicas presenta niveles de iluminación bajos; ya que las medidas se tomaron lejos de las luminarias. Este resultado concuerda con el estudio de ambas fachadas realizado por Isabel Rodríguez y con los resultados para la fachada de CC. Físicas de Pablo Cepero en 2009.



Imagen 4.1. Facultad de CC. Químicas



Imagen 4.2. Facultad de CC. Físicas



Imagen 4.3. Parque de Ciencias

En la facultad de CC. Físicas (Imagen 4.2) se aprecian niveles bajos en la fachada principal y en la entrada norte; aunque hay niveles de iluminación superiores alrededor del Centro de Cálculo y en la Avenida Complutense. Según los niveles de servicio que establece el Ayuntamiento de Madrid en el alumbrado exterior (véase el Anexo C) la fachada aparecería con una deficiencia de iluminación, debida en parte a la avería de algunas de las luminarias.

En el Parque de Ciencias (Imagen 4.3) hemos registrado valores de iluminación que sobrepasan los máximos establecidos en el Reglamento para este tipo de zonas, entre 10 y 15 lux. Con sólo un vistazo se adivina la posición de las luminarias, porque en su cercanía se alcanzan valores de hasta 50 lux. Algunas de las luminarias se encuentran ocultas por los árboles, a veces demasiado juntas y a veces demasiado separadas. Es éste un ejemplo especialmente llamativo

La iluminación en la Avenida Complutense alrededor del Paraninfo Norte (Imagen 4.4) es respetuosa con lo establecido en el Reglamento para esta vía principal. En las calles que se dirigen hacia la Facultad de Informática registramos niveles de iluminación muy bajos, inferiores a 10 lux. Las nuevas instalaciones del alumbrado no están aún en funcionamiento.

Frente a la Facultad de Informática (Imagen 4.5) funciona ya un pequeño tramo del alumbrado nuevo. En esta zona hemos recogido valores altos, demostrándose que la zona está sobreiluminada. Las luminarias en esta zona son muy numerosas y están muy juntas. En la fachada, además, quedan encendidos varios focos que serían suficientes para iluminar correctamente la parte anterior de la Facultad. Alrededor de los edificios de la UNED también se aprecian zonas con exceso de iluminación. Las luminarias aquí están bien separadas pero reciben una potencia superior a la recomendada.

teniendo en cuenta que la instalación es reciente. La fachada de la Facultad de Matemáticas presenta una iluminación deficiente debido al mal estado del alumbrado público en esta calle.



Imagen 4.4. Paraninfo Norte



Imagen 4.5 Facultad de Informática y UNED

Lo más reseñable en el Parque de las Letras (Imagen 4.6), es el exceso de iluminación de la fachada de la Facultad de Derecho. A la iluminación de las nuevas luminarias a ambos lados de la calzada, distando 10 metros, se suma la de los focos en la fachada que iluminan hacia abajo y hacia arriba. La fachada de la Facultad de Filología, justo enfrente, tiene las luminarias en mal estado con la excepción de las de la entrada principal. Existen también focos en la fachada pero se mantienen sin funcionar. En el parque se sobrepasan los niveles de iluminación recomendados debido a un suministro de potencia excesivo.

El entorno de la Facultad de Geografía e Historia es, en general, respetuoso con los niveles recomendados. (Imagen 4.7).

La conocida como zona multifunción, situada en el entrepiso entre la Facultad de Geografía e Historia y el Parque de las letras, presenta en algunos casos niveles de iluminación varias veces superiores a los recomendados, sobre todo en la parte central. Sin embargo, las luminarias parecen enviar poca luz



Imagen 4.6. Parque de Las Letras



Imagen 4.7. Facultad de Geografía e Historia y Zona Multifunción

hacia arriba a pesar de que su altura es excesiva según el Reglamento (véase el estudio fotográfico del Anexo B). En cualquier caso, concluimos que se trata de una zona con exceso de iluminación.

La Facultad de CC. Biológicas y CC. Geológicas (Imagen 4.8) orienta su entrada principal a la calle Profesor Aranguren, una de las zonas con más tránsito de Ciudad Universitaria ya que sirve de acceso más adelante a la autovía A-6. Por ello, el Reglamento contempla niveles de iluminación mayores para esta vía. Debido a los frondosos árboles, el alumbrado no consigue la uniformidad de iluminación; la acera de la fachada está deficientemente iluminada mientras que la acera del Jardín Botánico sobrepasa los niveles máximos recomendados. Su entrada permanece iluminada con focos durante toda la noche (véase el estudio fotográfico del Anexo B).

El lateral Este carece por completo de iluminación. En el lateral Oeste se disponen varias luminarias sobre una zona en desuso que superan ampliamente el máximo nivel recomendado,

considerando que la instalación de la acera de la Avenida Complutense sería suficiente.



Imagen 4.8. Facultad de CC. Biológicas y CC. Geológicas

Alrededor del Jardín Botánico (Imagen 4.9), distinguimos distintas situaciones atendiendo a los niveles de iluminación. Para empezar el lateral que da a la Facultad de Farmacia tiene una iluminación muy deficitaria. Las luminarias, en este caso, son antiguas y están deterioradas. La nueva instalación no ha sido conectada todavía. En la calle José Antonio Novais, se registran niveles muy altos tanto en la acera como en la calzada. En la Avenida Complutense, no había luminarias encendidas las noches que tomamos medidas con el coche, de ahí su defecto de iluminación. En las aceras, no obstante, se pudo comprobar el exceso de potencia que reciben las luminarias. El interior del Jardín Botánico, pese a que permanece cerrado toda la noche, está iluminado por decenas de luminarias.

En el cruce de la Calle Profesor Aranguren con la Avenida Complutense (Imagen 4.10) se registraron valores aceptables en la calzada. En las aceras como en la fachada del Jardín Botánico, por ejemplo, se midieron niveles altísimos de iluminación estando en funcionamiento el nuevo alumbrado exterior. Además, no se consigue uniformidad en la iluminación. Estas medidas ponen de manifiesto el derroche energético que tiene lugar en estas zonas, donde la instalación de las nuevas luminarias ya ha finalizado.



Imagen 4.9. Jardín Botánico Alfonso XIII

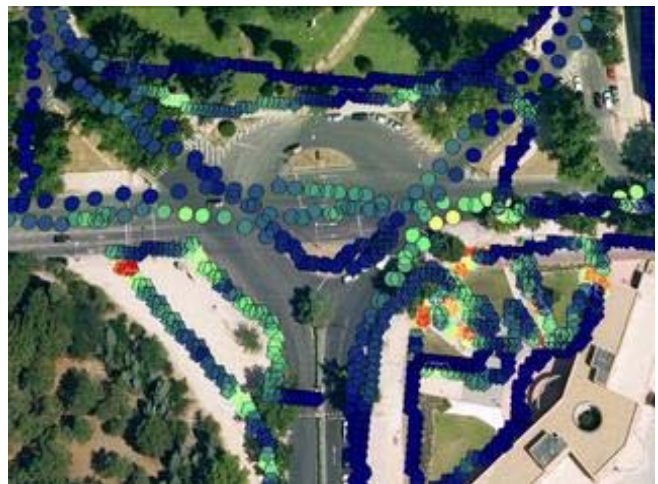


Imagen 4.10. Profesor Aranguren con Av. Complutense

En la Facultad de Farmacia (Imagen 4.12), se encienden cada noche unos focos colocados en la parte superior de su fachada principal. Se sobrepasan los niveles recomendados teniendo en cuenta que se trata de una zona eminentemente peatonal y sin tráfico en la práctica. Además la fachada se ilumina de abajo hacia arriba con unos potentes focos instalados a lo largo del edificio (véase Anexo B). En el lateral, hay unas lámparas que iluminan un pequeño pasaje peatonal. Las luminarias de las calles aledañas alcanzan niveles de intensidad altos al medir a unos dos metros de ellas.

En la Facultad de Odontología (Imagen 4.13), están instalados los mismos focos en la fachada, tanto en la parte superior como los que iluminan la fachada de abajo hacia arriba. De esta manera la situación se repite, aunque la noche que se tomaron las medidas no estaban encendidos los focos de la parte superior. Las calles aledañas son más oscuras aunque también se registran niveles de intensidad un poco más altos cerca de las luminarias.

En la fachada de la Facultad de Medicina, al igual que la Plaza Ramón y Cajal (Imagen 4.14), la situación es mejor. Sin embargo, la razón es la avería del alumbrado antiguo. Sería interesante repetir las medidas cuando se conecte el alumbrado nuevo.

En el Vicerrectorado se han registrado los niveles de iluminación más altos de todo el campus, superiores a 300 lux. Sin embargo, las calles aledañas no son transitadas ni por vehículos ni por peatones. Los árboles además ocultan algunas de las luminarias más potentes.

En la Avenida Complutense ocurre, como antes, que las luminarias reciben una potencia excesiva.

La situación es también de exceso energético en el entorno de la Facultad de CC. de la Información (Figura 4.11). La instalación cuenta con demasiadas luminarias que, además, están muy juntas. Hay cuatro puntos que superan el nivel de los 100 lux. La uniformidad es mejor que en otras zonas a costa de la alta potencia suministrada. A similar conclusión se llegó en el estudio de Pablo Cepero en 2009; sin embargo, la situación no ha mejorado. En las aceras de la Avenida Complutense, se registran picos intensos en las cercanías de las luminarias.



Imagen 4.12. Facultad de Farmacia



Imagen 4.13. Facultad de Odontología



Imagen 4.14. Plaza Ramón y Cajal y Vicerrectorado

El recinto Escuela Técnica Superior de Ingeniería Naval (Imagen 4.15) cuenta con alumbrado exterior así como con algunos focos en su fachada. Los resultados muestran que los niveles de iluminación están dentro de los baremos recomendados. La Avenida Arco de la Victoria cumple también con el Reglamento; sus valores, un poco más altos, están justificados al tratarse de una vía rápida. Sin embargo, la calle Obispo Trejo tiene una iluminación más potente, sin justificación en esta ocasión.

No existe un criterio bien establecido acerca de la correcta iluminación de las rotondas. En el caso de la rotonda del Cardenal Cisneros (Imagen 4.16) se aprecia cómo las zonas transitadas por peatones están más iluminadas en los accesos a las vías rápidas como la autovía A-6 y la Avenida Juan de Herrera. Llamen la atención también los altos niveles de iluminación que se han medido en el entorno de las nuevas luminarias instaladas, incluyendo el carril bici o la acera que comunica la Avenida Juan de Herrera con la Calle Obispo Trejo.



Imagen 4.15. ETSI Navales y Av. Arco de la Victoria



Imagen 4.16. Rotonda del Cardenal Cisneros

En la Avenida Juan de Herrera (Imagen 4.17), si bien se trata de una calle transitada, se llegan a doblar los máximos recomendados para este tipo de vía. La instalación del alumbrado nuevo ha concluido, por lo que la potencia suministrada debe ser excesiva. De la misma manera la calle que discurre por detrás del Museo del Traje está sobreiluminada.

La calle del Arquitecto López Otero cruza por debajo de la A-6 y llega hasta el Vicerrectorado (Imagen 4.18) también supera los máximos niveles recomendados. En los alrededores del túnel la iluminación registra niveles de 100 lux. El recinto de ETSI Agrónomos y EUIT Agrícolas presenta tanto espacios no iluminados como con exceso de iluminación, con niveles máximos de unos 50 lux.



Imagen 4.17. Av. Juan de Herrera y Museo del Traje



Imagen 4.18. ETSI Agrónomos y EUIT Agrícolas

Los niveles que hemos medido cerca de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería de Caminos, Canales y Puertos (Imagen 4.19) encajan, en general, dentro de las recomendaciones del Reglamento. Escapan de esta generalidad, alcanzando niveles superiores a 250 lux, algunos focos instalados en la parte superior del edificio con objeto de alumbrar el aparcamiento y un pequeño camino de servicio, algo de lo que se podría prescindir. Los resultados en la Calle Eduardo Saavedra, a la derecha de la Escuela, serían los adecuados para un enlace a una autovía. Con ello, se superarían los máximos permitidos en la intersección con los accesos a la Facultad de CC. De la Información.



Imagen 4.19. ETSI Caminos, Canales y Puertos

La iluminación en los alrededores del Hospital Veterinario (Imagen 4.20) es muy baja, prácticamente inexistente en la mayoría del recinto. A la entrada se halla correctamente iluminada la recepción de Urgencias. Los aparcamientos presentan un déficit de iluminancia, de acuerdo con la normativa. En el recinto, una pequeña calleja tenía instaladas dos luminarias cerca de las cuales se registraron los únicos valores altos, unos 40 lux.



Imagen 4.20. Facultad y Hospital Veterinario

Las luminarias en la fachada de la E.U. De Estadística (Imagen 4.21), presenta los niveles de iluminación adecuados teniendo en cuenta que no es una zona muy transitada. Destacan en esta imagen las medidas en torno a los 30 lux en la calle que baja hasta uno de los accesos al Palacio de la Moncloa, a la izquierda de la imagen. Unas potentes lámparas colocadas en un báculo de más de 20 metros de altura y alejado unos 30 metros de la calzada elevaban la captura del luxómetro unos 30 lux sobre los niveles medidos en la misma calle. La cercanía al recinto presidencial podría explicar su instalación.



Imagen 4.21. Escuela Universitaria de Estadística

En la zona de los Colegios Mayores de la UCM y el Complejo Deportivo Sur (Imagen 4.22), sólo cabe comentar la iluminación deficitaria de la Avenida Séneca, cuyos niveles ideales estarían entre los 20 y 30 lux. Como ya se señalaba en otras imágenes, la 4.16 y 4.17, a la Avenida Juan de Herrera y la calle Obispo Trejo se les suministra más potencia de la necesaria.



Imagen 4.22. Colegios Mayores de la UCM y Complejo Deportivo Sur



Imagen 4.23. Facultad de Bellas Artes

Alrededor de la Facultad de Bellas Artes, la iluminación presenta niveles de iluminación altos en los entornos de las luminarias. En la calle de El Greco se han medido valores desde varios lux hasta los 40 lux, lo que muestra que no se trata de un alumbrado muy uniforme.

El derroche energético es más intenso, como apuntábamos en la figura 4.18, en la calle del Arquitecto López Otero. Aquí alcanzamos máximos en torno a los 100 lux, aunque las recomendaciones estiman un máximo de 30 lux.

➤ Campus de Somosaguas

El interior del Campus de Somosaguas es enteramente peatonal, de modo que todas las mediciones se recogieron utilizando el carro. La vía que lo rodea y los aparcamientos fueron medidos con el coche. El acceso a algunas zonas fue imposible debido a las obras que se están ejecutando en el campus. Las medidas se tomaron entre el atardecer y las 23 horas, ya que el campus se cierra y no se puede permanecer en el interior. El alumbrado exterior y las luces de los vestíbulos de los edificios quedaban encendidas cuando ya nadie podía estar en su interior (véase el Anexo B).

Las zonas parquizadas no tenían luminarias instaladas aunque se podía ver en ellas; los niveles de iluminación recomendados son entre 7 y 10 lux. Alrededor de la Facultad de CC. Económicas y Empresariales (Imagen 4.24) se registraron valores altos cerca de las luminarias, a pesar de que intentamos no pasar por debajo de ellas con el fin de no disparar los resultados.

Los aparcamientos (Imágenes 4.24 y 4.25) estaban correctamente iluminados, pero el acceso al Polideportivo presentaba niveles cercanos a los 80 lux, muy superiores a los máximos establecidos. Los resultados en los aparcamientos exteriores (Imágenes 4.26 y 4.27) y la vía circundante son más que aceptables pues los niveles de iluminación máximos son de en torno a 35 lux, superando solamente 5 unidades a las recomendaciones. Cabe destacar la iluminación excesiva de dos sendas peatonales que llevan del Polideportivo a los aparcamientos; las luminarias en esta zona eran muy numerosas.



Imagen 4.24. Facultad de CC. Económicas y Empresariales



Imagen 4.25. Aulario y Acceso al Polideportivo



Imagen 4.26. Polideportivo y Aparcamiento Este



Imagen 4.27. Facultad de CC. Políticas y C.S. de Estudios de Gestión



Figura 4.28. Facultad de CC. Empresariales

Los aparcamientos exteriores frente al emplazamiento actual de la estación de Metro Ligerio Somosaguas (Imagen 4.28), presentan un exceso de iluminación. Son, de hecho, los niveles de iluminación máximos que se han registrado en el campus. Como hemos comentado, el campus se encuentra en obras en las zonas de aparcamiento y no sabemos si el proyecto incluye algún trabajo en las instalaciones del alumbrado público.

En los corredores aledaños a la Facultad de Psicología (Imagen 4.29), las luminarias son antiguas y están deterioradas. Los niveles de iluminación allí medidos toman valores mínimos, entre 0 y 10 lux. El punto más luminoso se registraba en el acceso a la calzada central, donde se sitúan unas vallas de control. Los resultados de la calzada que discurre por delante (abajo en la imagen) indican también una iluminación deficiente.



Imagen 4.29. Facultad de Psicología

Por último en el tramo norte de la vía que rodea al campus (Imagen 4.30), se han tomado medidas de entre 0 y 20 lux, resultando valores aceptables. El intervalo recomendado se establece entre 15 lux, mínimo, y 25 lux, máximo.



Imagen 4.30. Aulario

4.3. CONCLUSIONES

Es importante señalar que existen grandes diferencias entre los dos campus de la UCM que se recogen en este estudio. El campus de Somosaguas es un espacio cerrado, al que no se tiene acceso durante la noche y en cuyas calzadas, los coches recorren pequeñas distancias a velocidades reducidas. Por el contrario el campus de Ciudad Universitaria está atravesado por una autovía nacional, la A-6, y cuenta con accesos a la M-30 y M-500; los niveles de tráfico son muy superiores y hay circulación nocturna. Algunos colegios mayores tienen su emplazamiento en el campus y las dependencias del Palacio de la Moncloa pueden influir en las instalaciones del alumbrado público.

En cualquier caso, el campus de Ciudad Universitaria está más iluminado que el campus de Somosaguas. En este último, pocas zonas sobrepasan los niveles recomendados; algunas zonas entre las facultades, un aparcamiento y un par de sendas peatonales. Pero ello, podría disfrazar el hecho de que la iluminación es completamente inútil si ninguna persona permanece en el campus más tarde de las once de la noche. Si añadimos que las luces de los vestíbulos, entre los que destaca el Decanato (véase el Anexo B), también se quedan encendidas, el despilfarro energético es evidente. Tan sólo por buscar una comparación rápida, ocurre aquí lo mismo que el Jardín Botánico Alfonso XIII, que se ilumina a pesar de que no se puede acceder a él. Otra situación curiosa es la de unas luminarias montadas en báculos mal orientados, de manera que se ilumina el techo de un edificio en lugar de la vía.

En el campus de Ciudad Universitaria se registran, en general, niveles de iluminación superiores a las recomendaciones. El alumbrado alrededor del Paraninfo Norte y de algunas Facultades, como Geografía e Historia o E.T.S.I. Navales, cumple, no obstante, con los mínimos y máximos establecidos en el Reglamento (Anexo C). La instalación de las nuevas luminarias, mejor diseñadas a priori, ha heredado el modelo de doble lámpara, una alta que el báculo sitúa justo sobre la calzada y otra baja, que ilumina la acera; si bien en muchas ocasiones la lámpara baja no es necesaria. Además se han instalado hileras dobles de luminarias bajas, por ejemplo, frente a la Facultad de Informática o en el carril bici, que aún no están en funcionamiento. Sin embargo, los niveles medidos sin que todo el alumbrado esté conectado ya superan los máximos de iluminancia recomendada. Esto nos lleva al otro factor a tener en cuenta, que es la sobrealimentación que se suministra a las luminarias; tanta que debajo de ellas se puede leer con nitidez.

Cabe preguntarse también sobre la utilidad de los focos de alto consumo que están instalados en muchas de las facultades, Químicas, E.T.S.I. Caminos, Canales y Puertos, Medicina, Farmacia, Odontología, Derecho..., a veces en lugares absolutamente inesperados. La iluminación de las fachadas no sólo influye en las observaciones astronómicas, incluso impidiendo la observación directa, sino que supone un coste monetario elevado y un derroche energético importante para el medio ambiente.

Por último, algunas de las zonas que aparecen deficientemente iluminadas se deben a la avería del alumbrado exterior, lo cual no supone una solución. Una de estas zonas es precisamente la Facultad de CC. Físicas, aunque a cualquier persona que pasease por la fachada una noche le parecería que se ve perfectamente.

Sería muy interesante repetir periódicamente estos estudios para observar la evolución de la iluminación en estos entornos, en especial, cuando finalice la instalación y el alumbrado nuevo esté en funcionamiento. Si se dispone de tiempo, tal vez se puede ampliar las zonas de estudio o idear algún sistema de barrido más eficiente, puede que utilizando más de un luxómetro al mismo tiempo.

5. COMPARACIÓN CON ESTUDIOS ADICIONALES

5.1. COMPARACIÓN CON LAS MEDIDAS DE ALEJANDRO SÁNCHEZ

Nuestro precursor, Alejandro Sánchez de Miguel, tomó algunas medidas con su coche para probar su idea sobre la recogida de datos para los estudios de la contaminación lumínica. En su caso, la representación de los mapas se calculó con una escala logarítmica (Figura 2), aunque con la escala a la vista se pueden comparar nuestras medidas con las suyas.



Figura 2. Escala logarítmica utilizada por A. Sánchez de Miguel.



Imagen 5.1. Medidas 2010 Plaza de Ramón y Cajal



Imagen 5.2. Superposición de ambas medidas

Sirva como comparación las dos imágenes anteriores. En la imagen 5.1. se muestran nuestros resultados, y en la imagen 5.2. se superponen las medidas de Alejandro Sánchez. Parece que los máximos coinciden y se adivinan las luminarias fundidas en la Plaza Ramón y Cajal, y que los focos de la Facultad de Odontología estaban apagados la noche de nuestras medidas.

De todas maneras, estudios similares deberían usar una escala que facilite la comparación en el futuro y permitan extraer conclusiones sobre la evolución de la contaminación lumínica.

En la composición de la fachada de la Facultad de Derecho (imagen 5.3), se aprecia del mismo modo la sobreiluminación debida a los focos instalados en una y otra toma de medidas. Los máximos coinciden nuevamente y los niveles de iluminación son muy parecidos: a la izquierda de ambas imágenes aparecen valores en torno a los 100 lux en ambas configuraciones.



Imagen 5.3. Composición de medidas en la Facultad de Derecho

Además, podemos dilucidar un pequeño rasgo de evolución entre los resultados obtenidos por A Sánchez de Miguel y los nuestros. Alrededor de la Facultad de CC. Físicas (Imagen 5.4) se observan altos niveles de iluminación en los laterales y en la entrada Norte, según las medidas de A. Sánchez de Miguel. En los laterales de Físicas y Químicas, la situación es prácticamente igual debido a los focos instalados en los edificios. Sin embargo, los focos de E.T.S.I. Telecomunicaciones, que Sánchez pudo medir, no se han encendido ninguna de las numerosas noches en las que llevamos a cabo nuestras medidas. Es, sin duda, una buena noticia para las observaciones astronómicas.



Imagen 5.4. Superposición de medidas en los alrededores de la Facultad de CC. Físicas

5.2. IMAGEN DE LA ESTACIÓN ESPACIAL INTERNACIONAL

Desde la Estación Espacial Internacional se han tomado imágenes de la Península Ibérica, que superponemos a nuestras medidas. En la composición se distinguen claramente, a pesar de la altura de la toma, las zonas más iluminadas en comparación. Queda patente que el alumbrado exterior, ya sea directamente desde la lámpara o por reflexión, sí envía luz hacia el cielo.

En el campus de la Ciudad Universitaria (Imagen 5.5) destacan la plaza Ramón y Cajal, donde se sitúan las Facultades de Medicina, Farmacia y Odontología, Derecho y los alrededores de la Avenida Juan de Herrera. Se aprecia también el contraste con zonas más oscuras como la Facultad de Informática, Veterinaria y Estadística. Destacamos también la iluminación del Jardín Botánico, que aparece también iluminado.



Figura 5.5. Imagen del Campus de Ciudad Universitaria tomada desde la ISS.

El campus de Somosaguas (Imagen 5.6) también se distingue como una zona luminosa, significativamente más iluminada que las urbanizaciones que se extienden al sur del mismo. En su parte Norte, donde no hay facultades y se extienden las zonas de parque, aparece un poco más oscuro que en los alrededores. Un análisis más pormenorizado es difícil en este caso, dadas las dimensiones del campus.

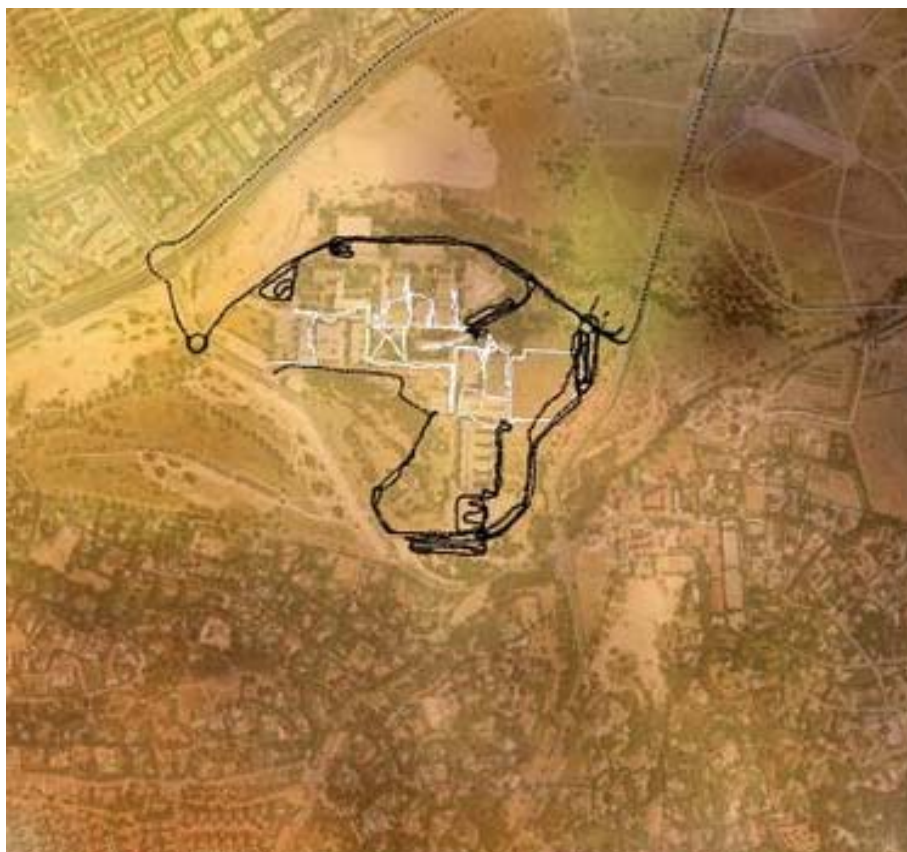


Figura 5.6. Imagen del Campus de Somosaguas tomada desde la ISS.

6. AGRADECIMIENTOS

A D. Jaime Zamorano, por darme la oportunidad de involucrarme en este proyecto y por su disposición a ayudar para que consiguiera llevarlo adelante.

Al Departamento de Astrofísica y CC. de la Atmósfera, que hace que este trabajo sea posible.

A. Isabel Rodríguez, por ser una valiosa compañera en las dificultades que hemos ido encontrando. Sin ella, este trabajo no hubiera sido posible.

A. Pablo Cepero, Berenice Pila y Alejandro Sánchez, por sus consejos y su ayuda exacta, pronta y precisa.

A Darío López y Natalia Madrid, por su compañía y colaboración en las noches de medición; su ayuda ha sido inmensa.

A mis compañeros y amigos, que siempre me apoyan y han sostenido mi ánimo a lo largo del curso.

7. ANEXOS

Anexo A: Fotografías del trabajo de campo

Con estas fotografías sólo quiero ilustrar brevemente las diversas noches en las que se tomaron los datos utilizados en este trabajo.



Fotografía 1



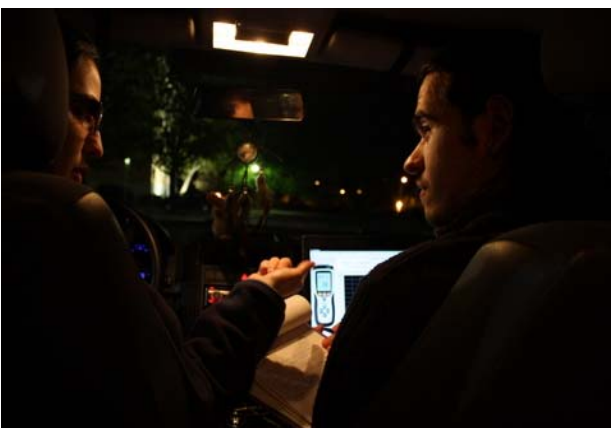
Fotografía 2



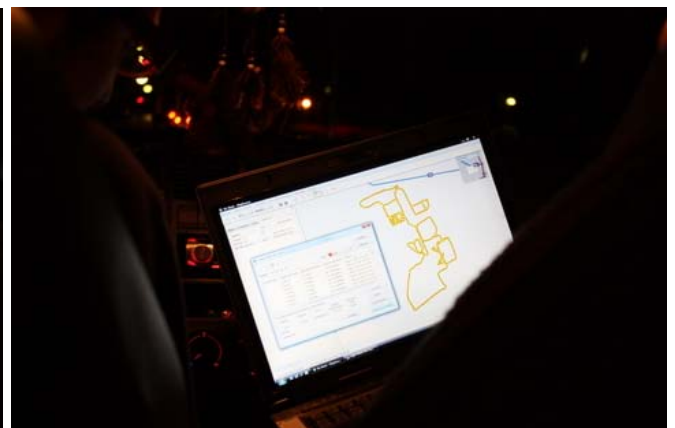
Fotografía 3



Fotografía 4



Fotografía 5



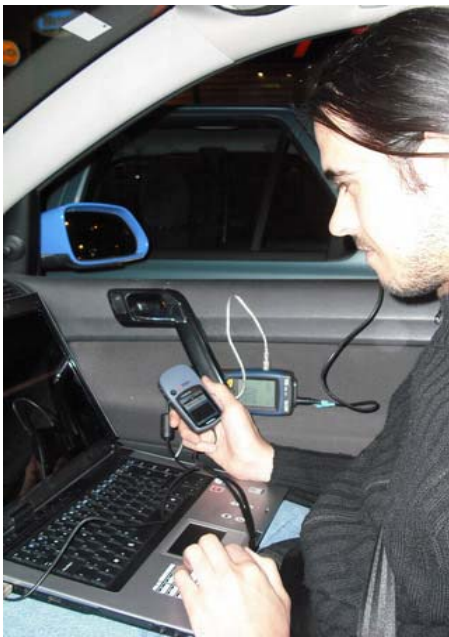
Fotografía 6



Fotografía 7



Fotografía 8



Fotografía 9



Fotografía 10



Fotografía 11



Fotografía 12



Fotografía 13



Fotografía 14



Fotografía 15



Fotografía 16



Fotografía 17



Fotografía 18

Anexo B: Estudio fotográfico

Como complemento al estudio realizado aportamos algunas fotografías que pueden dar una idea de las diferencias en iluminación entre unas zonas y otras.



Fotografías 19 y 20. Fachada de la Facultad de CC. Químicas



Fotografías 21 y 22. Fachada de la Facultad de CC. Físicas



Fotografías 23. Lateral de la Facultad de CC. Físicas



Fotografía 24. Centro de Cálculo



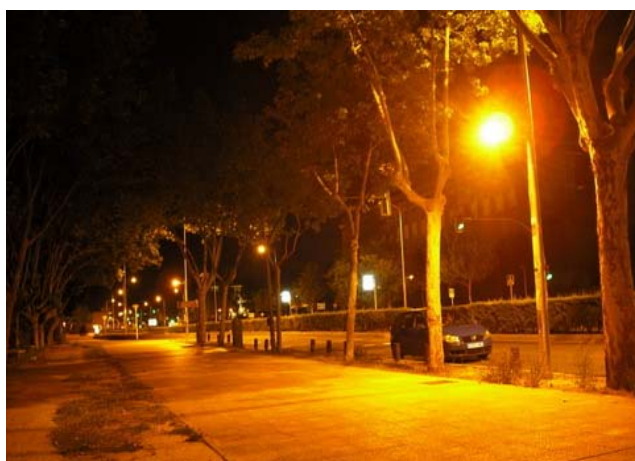
Fotografía 25. Lateral de la Facultad de CC. Químicas



Fotografía 26. Parque de las Ciencias



Fotografías 27 y 28. Avenida Complutense en los alrededores del Paraninfo Norte



Fotografía 29. Avenida Complutense



Fotografía 30. Fachada del Jardín Botánico



Fotografía 31. Plaza Ramón y Cajal



Fotografía 32. Lateral de la Facultad de Farmacia, junto al Botánico



Fotografía 33. Facultad de Farmacia



Fotografía 34. Facultad de Medicina



Fotografía 35. Foco iluminando la fachada de la Facultad de Odontología



Fotografía 36. Uno de los focos instalados en las Facultades de Farmacia y Odontología



Fotografía 37. Lámparas en un pasaje peatonal aledaño a la Facultad de Farmacia



Fotografía 38. Calle Profesor Aranguren



Fotografía 39. Fachada de la Facultad de CC. Biológicas y CC. Geológicas



Fotografía 40. Fachada de la Facultad de Derecho



Fotografía 41. Parque de las Letras



Fotografía 42. Área multifunción



Fotografía 43. Facultad de Geografía e Historia desde el área multifunción



Fotografía 44. CC. de la Información



Fotografía 45. Rotonda del Cardenal Cisneros



Fotografía 46. Focos en la Facultad de Informática



Fotografía 47. Nueva instalación en el exterior de la Facultad de Informática



Fotografías 48 y 49. Vestíbulo del Decanato iluminado en el Campus de Somosaguas



Fotografía 50. Los báculos están mal colocados y se ilumina el techo de un edificio en lugar de la calzada



Fotografía 51. Iluminación en el exterior de la Facultad de CC. Económicas



Fotografía 52. Iluminación en el exterior de la Facultad de Psicología

Anexo C: Niveles de servicio en vías urbanas

Ordenanza del Ayuntamiento de Madrid sobre el alumbrado exterior según el tipo de vía.

NIVELES EN SERVICIO EN VÍAS URBANAS
CUADRO 4.3.10.1.

Tipo de vía o área	Zona	Illuminancia media en servicio (lux)		Coeficiente de uniformidad media mínimo	Tipo y altura de soportes	Tipo de lámpara y potencia (W)
		Mínima	Máxima			
Calzadas de autopistas, autovías, vías arteriales radiales y de circunvalación	Tramos	25	35	0,5	Báculos o columnas (10 - 18 m)	VSAP (250 a 750)
	Enlaces	35	45	0,5	Báculos o columnas (12 - 30 m)	VSAP (400 A 1000)
Calzadas de ejes de Distrito	Tramos	25	35	0,4	Báculos o columnas (10 - 12 m)	VSAP (250 a 400)
	Intersecciones	30	40	0,4	Báculos o columnas (12 - 18 m)	VSAP (250 a 750)
Calzadas de calles colectoras de Barrio	Tramos	20	25	0,4	Báculos o columnas (9 - 10 m)	VSAP (150/250)
	Intersecciones	20	30	0,4	Báculos o columnas (10 - 12 m)	VSAP (250/400)
Calzadas de calles locales residenciales		15	25	0,3	Báculos, columnas (8 - 9 m) o candelabros	VSAP (70 a 150)
		25	30	0,3	Definir en proyecto (altura máxima 12 m)	VSAP (70 a 250)
Aceras y zonas peatonales	Centros históricos y vías comerciales	15	Estudio específico	Estudio específico	Definir en proyecto Recomendados candelabros	VSAP (70 a 250)
	Vías principales	15	20	0,3	Definir en proyecto necesidad y tipo	VSAP (70 a 250)
Aparcamientos en superficie	Vías locales	10	15	0,2	Definir en proyecto necesidad y tipo	VSAP (70 a 150)
		15	20	0,3	Definir en proyecto Recomendados báculos o columnas (8 - 18 m)	VSAP
Parques y jardines	Paseos	7	10	-	Columnas (4 - 6 m)	VSAP (70 a 150)
	Plazas y zonas estanciales	7	15	0,2	Columnas (4 - 10 m) o candelabros	VSAP (70 a 150)
	Focos de especial interés	-	30	-	Definir en proyecto	VSAP (70 a 150)

Este el CD-ROM contiene las hojas de cálculo con todos los datos utilizados, el proyecto en Google Earth, fotografías y todo el contenido relacionado con el estudio anterior.

