

## GPS BASED MEASURED SYSTEM FOR URBAN LIGHTING

Sierra Garriga, C.<sup>1</sup>; Sanz Ciria, R.<sup>1</sup>; González Benítez, M.<sup>1</sup>; García-Cascales, M. S.<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidad Politécnica de Cataluña, <sup>2</sup> Universidad Politécnica de Cartagena

This paper describes a tool for the development and evaluation of lighting levels of urban lighting.

Describes the development of a system for measuring and analyzing illumination levels of a city council, so that it can be evaluated through a direct measure of the level of service a lighting installation. Measure and evaluate the current status, examine the improvement after performing maintenance operations (Lamp massive changes, cleaning fixtures, etc.).

Analyzes the excess or lack of light in certain areas, so that policies can be established performance more in line with the real needs of users and installation environments

The described tool consists of two parts, one for measuring illuminance on urban roads and another to process, develop and evaluate average illuminance maps from the measurements.

The system responsible for taking measures consists of a computer connected to a GPS and a luxmeter, all integrated into a vehicle.

**Keywords:** *Urban lighting; Lighting quality; Illumination measures; GPS*

## SISTEMA DE MEDIDA DE ILUMINACIÓN URBANA BASADO EN GPS

La presente ponencia consistiría en la descripción de una herramienta para la elaboración y evaluación de mapas de niveles de iluminación a escala de población.

Describe el desarrollo de un sistema de medición y análisis de los niveles de iluminación de las vías públicas de un ayuntamiento, de forma que pueda evaluarse a través de una medida directa el nivel de servicio de una instalación de alumbrado. Medir y evaluar el estado actual, examinar la mejora tras la realización de operaciones de mantenimiento (cambios masivos de lámpara, limpieza de luminarias, etc.), valorar el exceso o la falta de luz en determinadas zonas, de forma que puedan establecerse políticas de actuación más ajustadas a las necesidades reales de los usuarios y entornos de la instalación

La herramienta descrita consta de dos partes, una para realizar medidas de iluminancia en vías urbanas y otra para procesar, elaborar y evaluar mapas de iluminancias medias a partir de las medidas realizadas.

El sistema encargado de tomar las medidas está formado por un ordenador conectado a un GPS y a un luxómetro, todo ello integrado en un vehículo.

**Palabras clave:** *Alumbrado público; Calidad en iluminación; Medidas iluminación; GPS*

## 1. Introducción

En el anterior XV Congreso internacional de ingeniería de proyectos se expuso el trabajo titulado: "Diseño de una aplicación de software de medición y evaluación de niveles de iluminación en vía pública mediante GPS". En el que se presentaba una herramienta desarrollada que incorporaba posicionamientos GPS y que mediante una conexión USB, se comunicándose con un ordenador para realizar la recogida de las medidas lumínicas de instalaciones de alumbrado público viario y para realizar su posterior análisis.

Después de un tiempo este sistema se está convirtiendo en una herramienta muy útil para la evaluación de los alumbrados exteriores y fundamentalmente del factor de mantenimiento de las instalaciones de alumbrado, así como de permitir la comparación de los niveles entre diferentes alumbrados. La herramienta permite el estudio de niveles, situando y cuantificando puntos de baja iluminación o con baja uniformidad, así como puntos con exceso de iluminación, más difíciles de detectar y que suponen un sobrecoste en términos de factura energética de los municipios, considerando que en muchos casos la extensión de estas zonas es amplia, como en el caso de Vitoria con casi el 50% de sus instalaciones (Noticias de Álava, 21/11/2009).

Uno de los retos principales que se planteó desde un inicio es como poder extrapolar los datos y curvas obtenidas en el techo del vehículo a medias a nivel de suelo. Puesto que los valores a nivel de suelo son los que se reflejan en las normas, reglamentos y recomendaciones, así como en la mayoría de programas de cálculo. Aunque para relacionarlos con lo que realmente ve un observador, tanto sea un peatón como un conductor, no sean los valores más correctos.

Para analizar esta cuestión en profundidad se ha realizado el estudio que aquí se presenta.

## 2. Objetivos

El objetivo fundamental planteado en este estudio es analizar si puede existir un método para extrapolar las medidas tomadas en el techo del vehículo a nivel del suelo y que error medio podemos obtener para las diferentes medidas que proporciona el sistema: iluminancia media, iluminancia máxima, iluminancia mínima, uniformidad, etc. Así como analizar si hay una correlación, entre la forma de la gráfica y sus características, a nivel del techo y a nivel del suelo.

Además también se intenta de identificar los parámetros de la instalación que afectan principalmente al resultado de esta extrapolación, como pueden ser: la altura de donde se coloca la sonda en el vehículo, el tipo de vía, la distribución de las luminarias en la vía, la altura de los puntos de luz y su posición respecto a la sonda, el tipo de luminaria y de lámpara, etc.

Puesto que el objetivo final es determinar si es posible que mediante la identificación de ciertos parámetros de la instalación, el software pueda extrapolar medidas en suelo a partir de las medidas en techo y que factores de corrección hay que aplicar, así como el error medio que se puede obtener.

## 3. Metodología

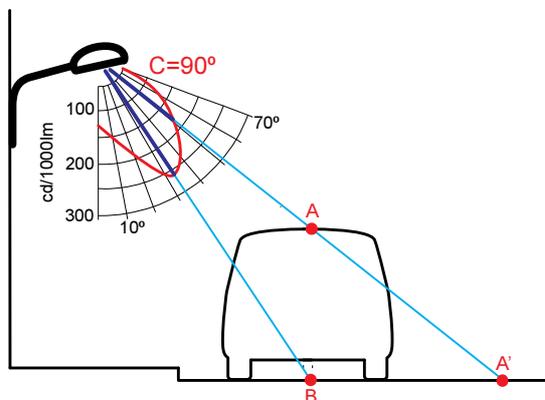
Para poder elaborar un modelo que permitiese bajar las medidas de iluminancia se hace necesario conocer el comportamiento en diferentes alturas de la evolución de la iluminancia. Estudios previos que se habían hecho, basados en simulaciones mostraban un comportamiento parecido pero con máximos y mínimos locales diferentes en las curvas de evolución de la iluminancia a lo largo del recorrido del vehículo. Estos estudios ya indicaban

una fuerte dependencia de los puntos de luz, tanto en distribución luminosa como en posición respecto al sensor luxométrico, pero mostraban inquietudes sobre el comportamiento real de la iluminancia.

Para poder aproximarse a un posible modelo de extrapolación de los datos a nivel del suelo se hizo necesario verificar el comportamiento real de las medidas a diferentes alturas con el fin de comprobar si la realidad se asemeja al comportamiento demostrado en simulaciones, o si bien, comportándose de forma diferente, de forma más simple o más compleja que en simulaciones, es posible extraer un modelo de comportamiento vinculando variaciones de iluminancias medias y uniformidades medias a las características de las instalaciones y de la medición, como pueden ser:

- Altura del vehículo.
- Distancia en el plano transversal del eje de circulación con el eje de alineación de las luminarias.
- Distribución espacial de las luminarias.
- Interdistancia de los puntos de luz.
- Altura de los puntos de luz.
- Anchura de la vía (en el caso de bilateral o tresbolillo).
- Tipo de luminaria.

**Figura 1: Afectación de la tipología de la luminaria y su distribución lumínica a la posición de medida.**



Para poder disponer de medidas simultáneas a diferentes alturas se ha empleado el sistema LX-GPS que nos permite registrar simultáneamente la medida de hasta tres sondas LX-GPS. Además, para poder situar una sonda luxométrica lo más próxima al nivel del suelo, se ha empleado un remolque de motocicletas, de forma que se han situado dos sondas en él y otra sonda sobre el techo del vehículo que lo arrastra.

Por lo que se han situado dos sondas en el remolque de forma que una de ellas está apantallada para analizar posibles efectos de otras fuentes de luz como el propio vehículo u otros que circulan por la vía.

De esta forma la sonda del techo queda situada a una altura de 172 cm sobre el suelo, mientras que las sondas del remolque se sitúan a una altura de 48 cm sobre el suelo y a 3 metros detrás de la primera.

Para evitar en la medida de lo posible afectaciones de vehículos que circulen detrás se empleó otro vehículo circulando justamente detrás debidamente señalizado, minimizando la interferencia de las luces del tráfico de otros vehículos en las medidas de las sondas del remolque.

Con este montaje se realizaron medidas a lo largo de 9 zonas con diferentes configuraciones de alumbrado.

**Figuras 2, 3 y 4 respectivamente: Imágenes del montaje experimental.**



Posteriormente se han analizado los datos separando las diferentes zonas en tramos más pequeños que muestran un comportamiento uniforme, analizando y comparando para cada caso las características del comportamiento y las características luminotécnicas obtenidas a cada altura, contemplando siempre las características de las instalaciones de la zona estudiada y la posición del vehículo al circular, como por ejemplo:

- Altura de las luminarias.
- Distribución de las luminarias.
- Interdistancia entre luminarias.
- Anchura efectiva de la instalación (en el caso de distribución bilateral o tresbolillo) la distancia transversal entre las luminarias, que no entre las bases de los puntos de luz).
- Distancia transversal de circulación respecto a la alineación más próxima de luminarias.

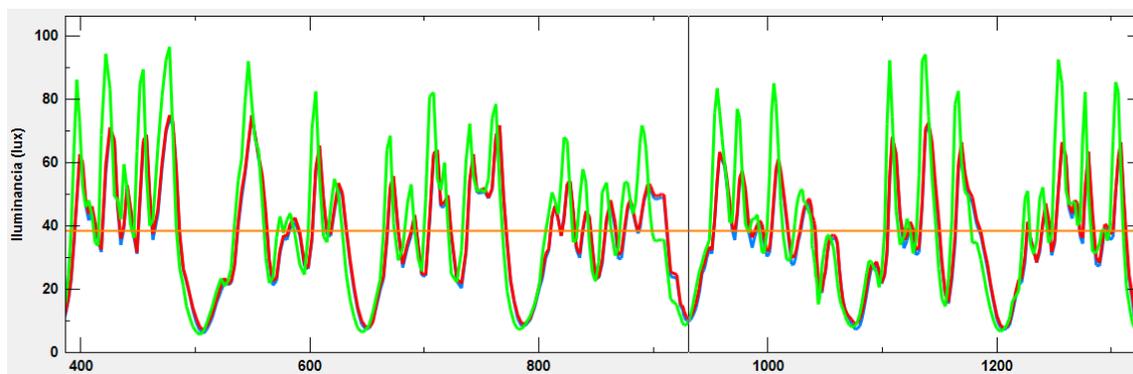
#### **4. Resultados**

A partir de una muestra de unas 6000 medidas realizadas a lo largo de 9 tramos (con sus subtramos diferenciados por características de la instalación) se realiza un primer análisis visual del comportamiento confirma lo siguiente:

- La sonda apantallada y la sonda sin apantallar muestran valores parecidos, garantizando un buen apantallamiento del coche de soporte de las pruebas y la escasa influencia de luces ajenas al experimento. Aun así en algunos casos se podía observar el efecto de luces ajenas al girar esquinas o paso de vehículos por el lado. Estos casos fueron insuficientes para afectar de forma perceptible el total de las medidas.
- El comportamiento de medidas en el remolque (nivel de suelo) y vehículo es muy similar, situando máximos y mínimos locales en los mismos lugares una vez corregida la distancia en la dirección de circulación del vehículo.

- Pese a lo anterior y como norma general, los valores medios y máximos locales son diferentes en remolque y vehículo, mientras que los mínimos locales son semejantes, aspecto que va en contra de lo que la lógica y el primer análisis teórico indicaba.

**Figura 5: Ejemplo de gráfico de evolución de medidas.**



Nota: El eje vertical corresponde a medidas de iluminancia en lux mientras el horizontal a distancia en metros. La línea verde corresponde a medidas en el techo del vehículo, la roja a medidas en el remolque sin apantallar y la azul a las del remolque apantalladas. Obsérvese que salvo contadas excepciones línea azul y roja se solapan. En este caso se observa también que los mínimos locales muestran valores similares mientras que los máximos locales muestran valores más altos en el techo del vehículo.

En la siguiente tabla se resumen las diferencias de valores y comportamientos hallados en las diferentes zonas de estudio, así como las características de las instalaciones de las mismas:

**Tabla 1: Tabla de diferencia entre valores medidos en remolque y en vehículo, así como características de los tramos.**

Zona	% Em	% Um	Máx local veh.	Mín. local veh.	Altura lum. (m)	Distrib	Ancho ef. (m)	Inter dist. (m)	Dist. Tr. Lum. (m)
TR1 - Badal	10,2	12,3	↑	↑	9	Unilat.	3	25	1,5
TR1 – Gran Vía Carlos III – Maria Cristina	5,5	29,9	↑	≈↓	7,5	Unilat.	6	24	1,5
TR2 – Rda. General Mitre – Ganduxer – Mandri	-1,2	-29,6	↑	↓	8	Unilat.	5	24	3
TR2 – Rda. General Mitre– Mandri - Muntaner	7,9	5,4	↑	↑	9	Bilat.	8	22	1
TR3 – Verdi, Sant, Salvador, Torrent de l'Olla	14,7	-17,2	↑	≈	4-6	Un./Tr	-	12	-
TR4 – Madrazo	-41	-37	↓	↓	4	Tresb.	7	12	3,5
TR4 – Muntaner – Diagonal	15,4	48	↑	≈↑	7,5	Tresb.	8	15	2
TR5 – Muntaner – Còrsega	-11	-13	≈	↓	8	Tresb.	8	12	2
TR5 – Muntaner – Gran Vía de les Corts Catalanes	6	-17	↑	≈	8	Tresb.	8	12	2
TR6 – Gran Vía – Muntaner – Roger de Llúria	9,8	3,4	↑	≈	8	Bilat.	14	20	2
TR7 – Diputació – Roger de Llúria – Aribau	14,5	22	↑	≈	7,5	Tresb.	7	10	1
TR8 – Aribau – Diputación – Aragón	6,5	-24	↑	≈	7,5	Tresb.	9	15	1,5

TR8 – Aragón – Aribau – Roma	7,7	-55	≈	≈	12	Tresb.	18	17	3
TR8 – Aragón – Roma - Calàbria	6,5	-16	↑	≈	7,5	Tresb.	8	12	2
TR8 – Aragón – Calàbria - Llançà	-9,5	-3	≈	≈	4	Tresb.	8	14	2
TR8 – Tarragona	10	-0,1	↑	↑	12	Unilat.	10	10	3,5
TR9 – Gran Via – Sant Roc - Moianès	10,8	-1,4	↑	≈	9	Tresb.	12	25	2,5
TR9 – Gran Via – Moianès – Pza. Cerdà	11,7	0,6	↑	↑	9	Bilat.	30	25	0

Nota: %Em representa la diferencia porcentual iluminancia media medida en el techo respecto a la medida en el remolque. %Um representa la diferencia porcentual, pero en el valor de uniformidad media. Max local veh. y Min local veh. muestran el comportamiento de los máximos locales y mínimos en el vehículo respecto al remolque mostrando si son valores superiores, inferiores o semejantes. Altura lum. indica la altura de la luminaria en metros. Distrib. indica la geometría de la instalación (bilateral, unilateral o tresbolillo). Ancho ef., Interdist., Dist. Tr. Lum. Indica la anchura efectiva del vial, la distancia entre luminarias y la distancia del centro del vehículo al borde del vial.

A partir de este punto se intenta correlacionar características geométricas (alturas, anchuras e interdistancias) con las variaciones de iluminancias medias y uniformidades medias entre medidas sobre el techo del vehículo y sobre el remolque. Tal como se había mostrado en simulaciones iniciales no se presenta ninguna clase de correlación fuerte entre parámetros directos de la instalación y diferencias entre iluminancias en techo y suelo.

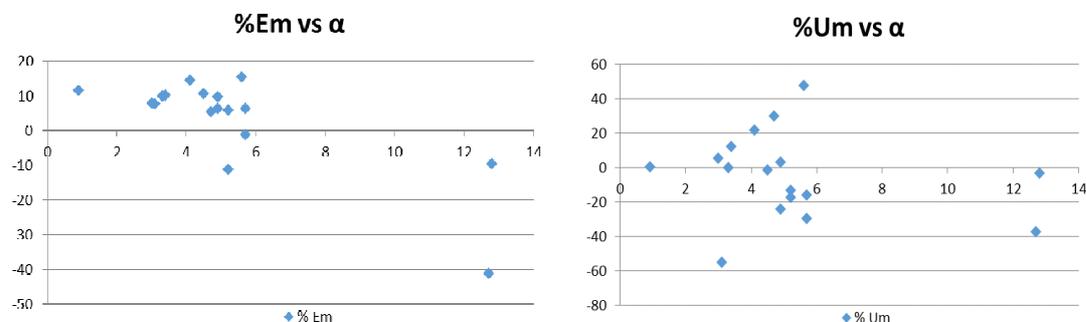
En este punto se opta por una simplificación de los parámetros, reduciéndolos a los esenciales que son:

- La diferencia de distancia punto de medida/punto de luz (d-d') entre la medida en el techo y en el suelo. Presumiblemente a mayor diferencia de distancias, debido a la inversa del cuadrado el valor de iluminancia, la diferencia entre iluminancias debería ser mayor.
- El ángulo de incidencia ( $\beta$ ) y la diferencia del mismo en ambas medidas ( $\alpha$ ). El ángulo de incidencia determina la intensidad recibida según la fotometría de la luminaria. Una diferencia de ángulos importante implica diferencias notables en la intensidad de partida.

Se analiza el comportamiento de estos parámetros a lo largo de los tramos y se obtiene un valor representativo medio ponderándolo con la distancia del punto de medida con el punto de luz más cercano.

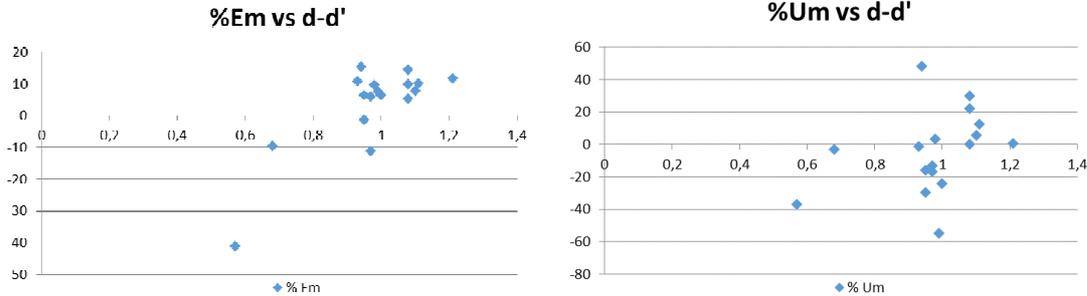
En este caso tampoco se encuentran correlaciones significativas entre los parámetros creados, como se puede ver, por ejemplo, en las siguientes figuras:

**Figuras 6 y 7: Relación entre ángulos  $\alpha$  e incrementos de iluminancia media y uniformidad media.**



Nota: %Em representa la diferencia porcentual iluminancia media medida en el techo respecto a la medida en el remolque. %Um representa la diferencia porcentual, pero en el valor de uniformidad media.  $\alpha$  representa la diferencia entre ángulos de incidencia de la luz en la célula de medición en ambas posiciones en grados.

**Figuras 8 y 9: Relación entre la diferencia de distancia entre las dos posiciones e incrementos de iluminancia media y uniformidad media.**

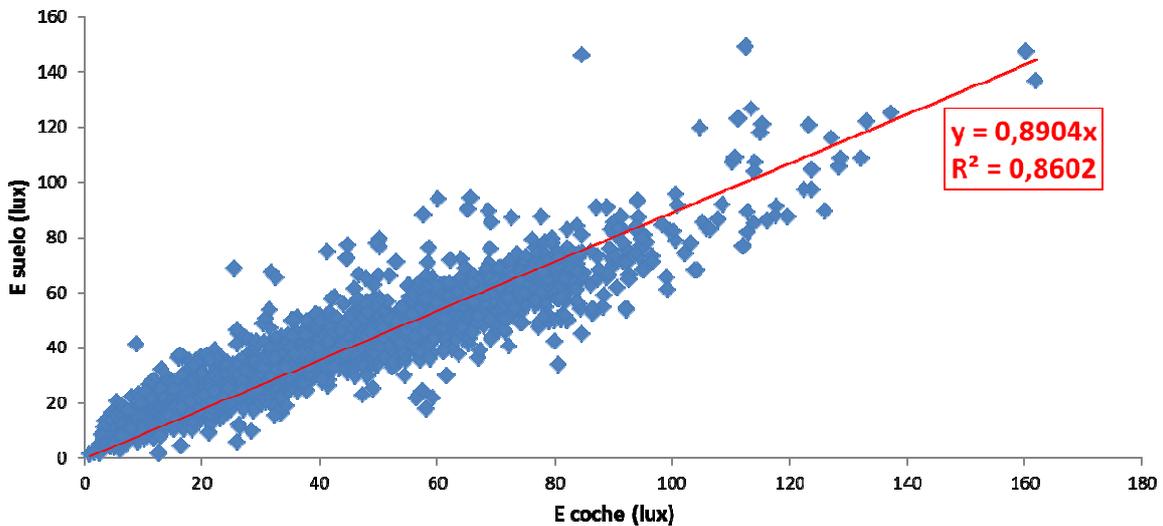


Nota:  $%Em$  representa la diferencia porcentual iluminancia media medida en el techo respecto a la medida en el remolque.  $%Um$  representa la diferencia porcentual, pero en el valor de uniformidad media.  $d-d'$  representa la diferencia entre distancias del punto de luz a la célula de medición en ambas posiciones en metros.

Debido a la dificultad de correlacionar datos se adoptó otra estrategia para la modelización de las medidas a nivel de suelo a partir de las medidas sobre el vehículo. En ella se abordó la posibilidad de hacerlo a partir de muestras, sin tener en cuenta características y observando a grandes rasgos comportamientos generales.

Situando los valores medidos en ambas posiciones se observa que existe una marcada correlación tal como era de esperar.

**Figura 10: Relación entre iluminancias medidas en el suelo y sobre el vehículo.**



Nota: Se han eliminado de la gráfica medidas correspondientes al tramo dos, debido a que las características de iluminación de alguno de sus tramos presentaban características excepcionales, tanto a nivel de iluminación como geometría de la instalación.

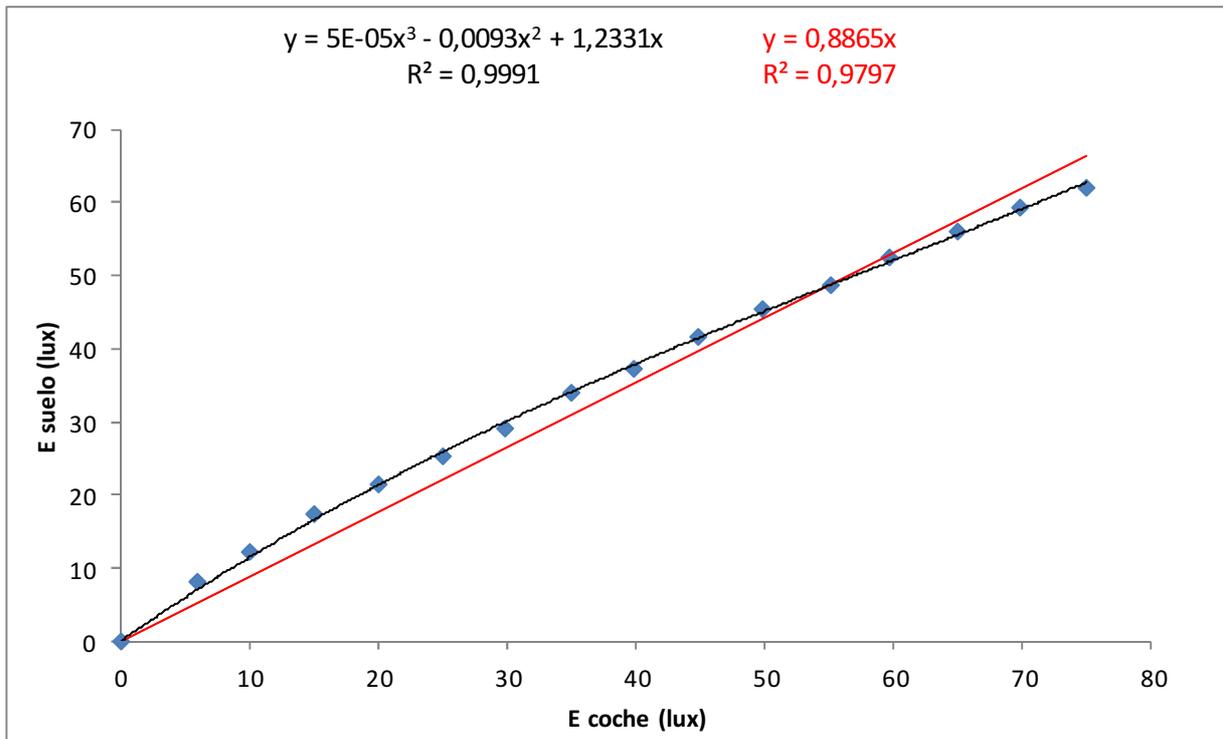
A partir de la nube de puntos proporcionada ya se puede establecer una relación entre las medidas realizadas en el coche con las medidas observadas en el suelo, tal como refleja la ecuación sobre la gráfica de la figura 10.

Aún así se observa que a niveles de iluminancia bajos, 0-20 lux por ejemplo, la recta no se ajusta bien. Siendo esta franja de iluminancias una de las más habituales en el caso de

alumbrado público se hace necesario buscar algo que se ajuste más a este tramo, ya que el error tan grande en valores bajos hace que el error porcentual se dispare.

La siguiente aproximación realizada es el estudio del comportamiento de los valores medios en tramos de 5 lux. Es decir, en cada tramo de 5 lux de las medidas sobre el vehículo se calcula el valor medio de las medidas sobre el vehículo y su equivalente sobre el suelo. Con esto obtenemos el gráfico y las ecuaciones de la figura 11.

**Figura 10: Relación entre iluminancias medidas en el suelo y sobre el vehículo.**



Además de todo esto se hizo un estudio de detalle de cada tramo, en el que se hizo una correlación como la de la figura 10, pero no sobre la totalidad, sino solo con los datos pertenecientes a ese tramo. Nótese que la única forma de hacer estas medidas es a partir de datos en las dos alturas y por lo tanto no tiene utilidad práctica (solo se desea colocar sensor sobre el vehículo). El motivo de su utilización es el de referencia para la comparación de los otros dos métodos.

De esta forma se establecieron tres conversiones para comparar, una recta de regresión sobre la totalidad, una curva de regresión sobre tramos de medias y rectas de regresión para tramos individuales. Se aplicaron las conversiones sobre 16 tramos, obteniendo la siguiente tabla de errores porcentuales:

**Tabla 2: Tabla de errores porcentuales según el método de conversión.**

Tramo	Valor con signo			Valor absoluto		
	% E gral.	% E MM	% E local	% E gral.	% E MM	% E local
1	-3,6	7,8	-1,9	3,6	7,8	1,9
2	-12,2	-5,3	-2,4	12,2	5,3	2,4
3	-0,7	-1,5	-0,7	0,7	1,5	0,7

4	1,1	6,6	-6,4
5	2,3	2,0	-3,7
6	-5,1	-3,1	-4,6
7	-20,8	-4,3	-3,0
8	-2,4	0,4	-1,8
9	0,8	-0,3	-5,4
10	-3,4	1,6	-4,1
11	-17,8	-4,0	-2,7
12	-4,7	-0,6	-4,0
13	-18,9	0,0	-1,3
14	-3,0	1,5	-0,6
15	-1,7	7,2	-2,1
16	-1,6	-6,5	-0,2
<b>Media</b>	<b>-5,7</b>	<b>0,1</b>	<b>-2,8</b>

1,1	6,6	6,4
2,3	2,0	3,7
5,1	3,1	4,6
20,8	4,3	3,0
2,4	0,4	1,8
0,8	0,3	5,4
3,4	1,6	4,1
17,8	4,0	2,7
4,7	0,6	4,0
18,9	0,0	1,3
3,0	1,5	0,6
1,7	7,2	2,1
1,6	6,5	0,2
<b>6,3</b>	<b>3,3</b>	<b>2,8</b>

Nota: Se ha calculado los errores con signo y en valor absoluto para el cálculo de las medias. % E<sub>gral</sub> corresponde al error porcentual de la regresión lineal con todos los datos, % E<sub>MM</sub> al de la regresión con una curva de grado 3 sobre tramos de medias y % E<sub>local</sub> corresponde al de la regresión lineal con datos propios del tramo.

Se puede observar que en el caso del error medio en el método de los tramos de medias de las muestras contemplando el signo es pequeño. En el peor de los casos, en el que se tiene en cuenta el error en valor absoluto y no se compensan errores positivos y negativos, se observa que el tramo de media mejora notablemente la regresión lineal con todos los datos y es muy próximo a la regresión con datos locales, pero sin la dificultad de obtención de esos datos.

#### 4. Conclusiones

Primeramente, indicar que el uso del apantallamiento mediante otro vehículo mostró ser efectivo garantizando la validez de los datos sobre los que se ha trabajado.

La primera conclusión que confirma la experimentación realizada es que la evolución y valores medidos del techo y el suelo son muy similares y sus variaciones son proporcionales, aunque la variable de proporcionalidad es diferente en función de las condiciones de cada tramo.

Existen una gran cantidad de parámetros que causan la variación entre las mediciones en las dos alturas. Las pruebas realizadas no conducen a una conversión rápida de valores basándose en las características de las instalaciones.

La aproximación mediante el uso de medias según tramos supone un aumento notable de la precisión de la conversión de valores frente a regresiones lineales (cerca de un 50% menos de error), pero con precisión parecida a metodologías basadas en regresiones de datos locales, reduciendo la dificultad y el tiempo de la medición de estos últimos.

## 5. Referencias

- Sanz R.; Sierra C. (2011). Diseño de una aplicación de software de medición y evaluación de niveles de iluminación en vía pública mediante GPS. AEIPRO. XV Congreso internacional de ingeniería de proyectos (p.1-14). Huesca.
- Noticias de Álava (21 Noviembre 2009). Casi la mitad de las calles de Vitoria padece un exceso de iluminación. <http://www.noticiasdealava.com/2009/11/21/vecinos/vitoriagasteiz/casi-la-mitad-de-las-calles-de-vitoria-padece-un-exceso-de-iluminacion>