

## Resumen

El presente proyecto tiene como objetivo el desarrollo e implementación de un conjunto de herramientas para el estudio del nivel de servicio en términos lumínicos de las instalaciones de alumbrado público.

Las metodologías empleadas habitualmente para medir y valorar las prestaciones de las instalaciones mediante parámetros lumínicos implican procesos de medición relativamente lentos y laboriosos, de manera que su uso se limita al estudio de áreas pequeñas y/o con un interés particular. Con la intención de extender dicha clase de estudios a grandes zonas, tales como municipios enteros, se han implementado en el sistema desarrollado el uso de un vehículo en movimiento para la toma de medidas y de un *SIG* (Sistema de Información Geográfica) para gestionar y automatizar la obtención, manipulación y representación del gran número de medidas implicadas.

El resultado final es una herramienta ágil y útil para la evaluación de los niveles de iluminación que hace posible el estudio general de grandes áreas mediante el uso de mapas de niveles, y que además, aprovechando los datos obtenidos, también puede ser válida para el estudio detallado del comportamiento del alumbrado en zonas particulares.

La herramienta resultante, sin ser sustitutiva de procedimientos empleados habitualmente, es capaz de proporcionar información valiosa sobre el comportamiento y evolución de las instalaciones, de forma que pueda ser utilizada por instaladores y mantenedores para elaborar políticas de mantenimiento y de nuevas instalaciones más eficientes y ajustadas a la realidad, a partir de la visualización del estado y evolución real del sistema de alumbrado.

En esta memoria se presenta el proceso de desarrollo e implementación técnica de dicho sistema, denominado sistema *VIALLUM*, explicando las bases teóricas del análisis del alumbrado empleadas, así como las soluciones adoptadas, las valoraciones obtenidas a partir de las pruebas y las especificaciones y limitaciones finales del sistema.





## Sumario

<b>RESUMEN</b>	<b>1</b>
<b>SUMARIO</b>	<b>3</b>
<b>GLOSARIO</b>	<b>7</b>
<b>PREFACIO</b>	<b>9</b>
<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	<b>13</b>
1.1. Objetivo .....	13
1.2. Alcance.....	13
<b>2. EVALUACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO DEL ALUMBRADO PÚBLICO</b>	<b>15</b>
2.1. Conceptos previos de iluminación .....	15
2.1.1. Flujo luminoso.....	15
2.1.2. Eficacia luminosa.....	15
2.1.3. Intensidad luminosa .....	16
2.1.4. Iluminancia.....	16
2.1.5. Luminancia .....	17
2.2. Alumbrado público .....	17
2.2.1. Mantenimiento del alumbrado.....	18
2.3. Evaluación del nivel de servicio .....	20
2.3.1. Criterios de calidad del alumbrado de vías públicas.....	20
2.3.2. Definición de nivel de servicio empleada.....	22
2.3.3. Generalidades sobre las mediciones de iluminancias.....	23
2.3.4. Metodología habitual de medición de iluminancias horizontales .....	24
2.3.5. Medición de iluminancias mediante vehículo.....	27
<b>3. SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA</b>	<b>33</b>
<b>4. DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN</b>	<b>37</b>
4.1. Introducción.....	37
4.2. Descripción general .....	38
4.3. Módulo VIALUM-Movil .....	40
4.3.1. Hardware .....	42
4.3.2. Software.....	49
4.4. Módulo de tratamiento de datos VIALUM-SIG .....	54
4.4.1. Hardware .....	56



4.4.2. Software.....	56
4.5. Desarrollo del software.....	64
4.5.1. Herramientas de desarrollo y condiciones de distribución.....	65
<b>5. RESULTADOS</b> _____	<b>69</b>
5.1. Pruebas .....	69
5.2. Especificaciones del sistema.....	72
5.2.1. VIALLUM-Movil.....	72
5.2.2. VIALLUM-SIG.....	74
5.3. Metodología .....	75
5.4. Limitaciones.....	79
<b>6. IMPACTO AMBIENTAL</b> _____	<b>81</b>
<b>7. PLANIFICACIÓN</b> _____	<b>85</b>
<b>8. PRESUPUESTO</b> _____	<b>87</b>
8.1.1. Costes de recursos humanos.....	87
8.1.2. Costes de recursos materiales .....	88
8.1.3. Coste total.....	89
<b>CONCLUSIONES</b> _____	<b>91</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> _____	<b>93</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA</b> _____	<b>95</b>
Referencias bibliográficas .....	95
Bibliografía complementaria .....	96
<b>ANEXOS</b> _____	<b>97</b>
<b>A. CÁLCULOS EMPLEADOS</b> _____	<b>99</b>
A.1. Ecuaciones de Cotticchia-Surace .....	99
A.2. Interpolación de posiciones de medidas .....	100
A.3. Eliminación de medidas.....	101
A.4. Eliminación de valores extremos.....	102
A.5. Corrección de posición de puntos de medida.....	104
<b>B. ESPECIFICACIONES DEL HARDWARE EMPLEADO</b> _____	<b>107</b>
B.1. Ordenador.....	107
B.2. GPS .....	107
B.3. Multímetro.....	108



B.4. Célula luxométrica.....	109
B.5. Accesorios.....	110
<b>C. ESPECIFICACIONES Y FORMATO DE ARCHIVOS</b> .....	<b>111</b>
C.1. Capas de sectores .....	111
C.2. Capas de información adicional.....	112
C.3. Capas de medidas .....	112
<b>D. MANUAL DE USUARIO</b> .....	<b>115</b>
D.1. Introducción al sistema VIALUM.....	115
D.2. VIALUM-Movil .....	122
D.3. VIALUM-SIG .....	136
<b>E. LEGISLACIÓN</b> .....	<b>185</b>





## Glosario

A continuación se definen algunos términos que se emplearán posteriormente:

**Iluminancia:** Se define como el flujo luminoso recibido por una superficie, entendiendo por flujo luminoso como la potencia emitida por una fuente emisora de luz en forma de radiación visible para el ojo humano. La unidad empleada es el *lux*, y el instrumento de medida se denomina *luxómetro*.

**CIE:** Siglas correspondientes a *Commission Internationale de l'Éclairage*, es decir Comisión Internacional de Iluminación. Organización dedicada a la cooperación internacional y al intercambio de información entre sus países miembros sobre todas las materias relacionadas con el arte y la ciencia de la iluminación. Sus miembros son los Comités Nacionales de unos 40 países [1].

**SIG:** Un Sistema de Información Geográfica (SIG, o GIS en su acrónimo inglés) es un sistema de hardware, software, información espacial y procedimientos computarizados, que permite y facilita el análisis, gestión o representación del espacio [2]. En otras palabras, se trata de un sistema de tratamiento de información mediante soporte informático en el cual el principal vínculo entre los diferentes tipos de datos empleados es la posición geográfica.

**Puerto serie:** También conocido como puerto COM. Es un interfaz de comunicación de entrada y salida para dispositivos electrónicos digitales, es decir, un protocolo de transmisión de datos y un conjunto de conectores normalizados. Se utilizará el término para referirse al conector, en particular al formato DB9 (de 9 pines).

**Multímetro:** Instrumento electrónico para la medición de diversos valores de carácter electrotécnico, como resistencias, intensidades, voltajes, etc.

**GPS:** *Global Positioning System* (Sistema de posicionamiento global). Es un sistema de geoposicionamiento basado en una red de 24 satélites artificiales puestos en órbita por el departamento de defensa de los EE.UU. De origen militar, es posible su uso gratuito e ininterrumpido. Se utilizará el término GPS para denominar al dispositivo receptor encargado de calcular la posición (mediante triangulaciones) a partir de la señal de cuatro o más satélites.

**NMEA:** Es un protocolo de comunicación creado para la navegación marítima y luego extendido a la navegación terrestre. Permite la transmisión de datos de multitud de dispositivos, tales como GPS, brújulas electrónicas, sónar, etc. a otros aparatos encargados del procesamiento y representación como ordenadores.



**Datum:** Es un conjunto de parámetros geodésicos, más concretamente referentes a la forma y dimensiones del elipsoide y punto de referencia que se emplean para definir la forma de la Tierra en una zona particular. Para cada conjunto de coordenadas de posición es necesario indicar en que datum esta referenciado, puesto que las mismas coordenadas en datums diferentes pueden indicar puntos distintos. El más empleado para España es el ED-50 (European 1950) y mientras que el WGS 84 es el más empleado en entornos de uso el GPS.

**UTM: Universal Transverse Mercator.** Es una de las proyecciones (conversión de la superficie curva terrestre a superficie plana para su representación en mapas de dos dimensiones) más empleadas junto a las coordenadas geográficas (grados de latitud y longitud). Establece un sistema de coordenadas según el cual se puede determinar la posición sobre un mapa. Se trata de una proyección de tipo cilíndrica en la que se mantienen los ángulos. Se divide la tierra en sectores de 6 grados con un total de 60 zonas (el meridiano 0 entre las zonas 30 y 31, zonas que cubren a la vez la península ibérica), creando en cada sector un sistema de cuadrícula en el que las unidades son metros.



## Prefacio

Desde que los antecesores del *homo sapiens* descubrieran y empezaran a controlar el fuego, el hombre ha desarrollado la habilidad de iluminar su entorno para su propio beneficio, hasta el punto de depender de la luz artificial para el correcto desarrollo de las actividades humanas en una sociedad como la actual.

A medida que el progreso avanza, los requerimientos de iluminación se hacen más exigentes. Se necesita iluminar más espacio, más tiempo y de forma más eficiente y estética, hasta el punto que una iluminación deficiente puede tener una influencia notablemente negativa, como por ejemplo imposibilidad de realizar algunas actividades, sensación de inseguridad, aumento de la siniestralidad, cansancio visual, etc. Se hace necesario entonces procurar una correcta iluminación en la medida de lo posible.

Pese a estar sujeto a valoraciones subjetivas (por ejemplo, dos zonas con el mismo nivel de iluminancia pueden tener valoraciones totalmente opuestas sobre si esta suficientemente iluminada según el uso o interés que puedan tener esas zonas para el observador) y de que éstas no dejan de tener su importancia a la hora de valorar si una zona está correctamente alumbrada, es necesario establecer magnitudes y parámetros para poder describir técnicamente y de forma objetiva las condiciones de iluminación que proporciona una determinada instalación de alumbrado. Parámetros como luminancias, iluminancias, iluminancias medias, uniformidades, deslumbramientos, etc. son valores empleados habitualmente para ello. De esta manera se pueden unificar criterios y establecer valores de referencia que sirvan de guía a la hora de diseñar instalaciones que alumbren correctamente, así como para evaluar y comparar el funcionamiento de instalaciones existentes.

Pero en el diseño de instalaciones de alumbrado, como en cualquier ámbito técnico, los valores teóricos calculados que una instalación proporcionará deben contrastarse con los valores reales una vez implementada la solución. En el caso del alumbrado esto se hace no solamente para verificar la correcta ejecución de la obra, sino para valorar la depreciación de los equipos u otros factores que pueden alterar el funcionamiento óptimo de la instalación a lo largo de su vida útil, ya que una iluminación correcta no depende sólo del diseño de la instalación sino también depende en gran medida del mantenimiento y condiciones a las que es sometida. Factores como vibraciones, humedad, suciedad o calidad del suministro eléctrico pueden alterar notablemente al rendimiento y fiabilidad de los equipos y son factores que pueden variar notablemente dentro de una misma zona y que pueden incidir de manera distinta según los equipos empleados.



Así pues, para poder conseguir diseños y establecer políticas de mantenimiento más eficientes y ajustadas a la realidad es muy útil conocer la situación y evolución del comportamiento lumínico de las instalaciones mediante mediciones sobre el terreno. Pero medir sobre el terreno no es una tarea simple y rápida a priori. Para ello se requiere tomar una serie de medidas en diferentes puntos situados sobre una malla en la zona que se va a estudiar, generalmente con un sensor luxométrico desplazándolo manualmente entre los puntos y anotando las medidas, para luego obtener mediante un cálculo el valor representativo del área estudiada. De esta manera las labores de medición suelen ser lentas y tediosas y, además, puede tener otras implicaciones como cortes de tráfico mientras se tomen medidas sobre la calzada. La metodología habitual se muestra entonces como un proceso lento y costoso que lo hace poco viable, exceptuando en zonas relativamente pequeñas o de interés particular. Debido a que el área de estudio no puede ser muy grande, la elección de la zona es un factor crítico además, ya que debe ser representativa de lo que se pretende estudiar y es arriesgado, por ejemplo, valorar el alumbrado de una calle entera basándose en las medidas tomadas en una zona particular, sobretodo teniendo en cuenta que las condiciones de alumbrado pueden variar a lo largo de la calle. Estas restricciones de extensión y representatividad de las áreas de estudio con los métodos habituales limita el uso de estos estudios a casos particulares o necesidades concretas, perpetuando una cierta incertidumbre sobre las prestaciones y evolución real del nivel de servicio general de las instalaciones de alumbrado desde perspectivas superiores, como calles enteras, barrios o a nivel de municipio, que dificulta el obtener una visión global de las características de alumbrado que permita justificar, corregir y mejorar las políticas generales de instalaciones y mantenimiento del alumbrado.

Un paso dado para agilizar el proceso y posibilitar el estudio de mayores extensiones ha sido la integración del sistema de medición en un vehículo, permitiendo realizar medidas en movimiento, con la consiguiente reducción en el tiempo empleado en obtener las medidas respecto al sistema habitual de medición. Un ejemplo de producto existente basado en el uso del vehículo es el "*Lux data logger LX-1000*", fabricado por *AFEISA S.A.* El funcionamiento de este sistema se basa en el uso de un odómetro (dispositivo para medir distancias recorridas) y de notas orales por parte del operario para posicionar las medidas de iluminancias realizadas a intervalos de distancia regulares.



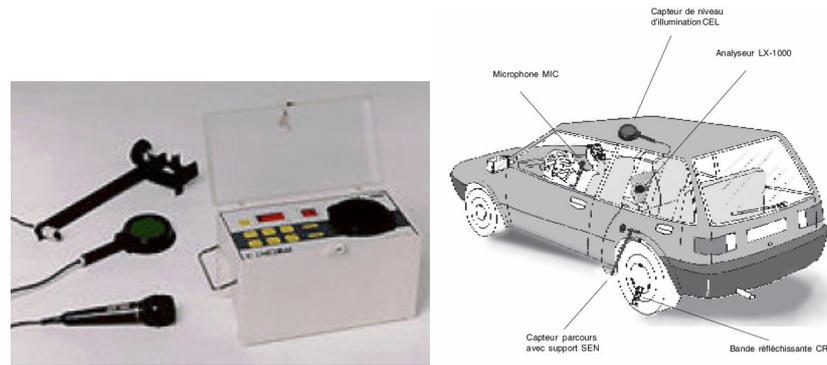


Fig. 0.1 : Sistema LX-1000 de AFEISA.

Utilizando el vehículo queda resuelta la problemática de la adquisición de grandes volúmenes de datos en tiempos razonablemente cortos. Pero el tratamiento y visualización masivo de la información, pese a la utilización de software en el proceso, sigue siendo lento e impreciso. Esto se debe a que, en los sistemas existentes en el mercado, el posicionamiento de las medidas no deja de ser un proceso relativamente “manual” y poco exacto (basado en apreciaciones anotadas por el operario o grabaciones orales en el caso del LX-1000). Esto provoca que no se puedan posicionar ni automáticamente ni con precisión suficiente las medidas, de manera que se deben dividir las medidas en tramos cortos (generalmente rectos o sin cambiar de calle) que deben ser tratados posteriormente de forma individual.

Aquí es donde entra en juego un conjunto de tecnologías agrupadas bajo el término de SIG (Sistemas de Información Geográfica, o GIS en sus siglas en inglés). Cada vez más implantadas las aplicaciones SIG en la gestión y mantenimiento del alumbrado, técnicas como el geoposicionamiento mediante GPS o el tratamiento informático de la información dotarían al sistema de medición de la posibilidad de automatizar el procesado y análisis de las medidas lo suficientemente como para permitir la manipulación y obtención de los resultados rápida y sencilla a partir de grandes volúmenes de medidas. El posicionamiento mediante GPS es absoluto y relativamente preciso, por lo que no es necesario dividir las medidas en tramos cortos puesto que la precisión de la posición es independiente entre medidas y además no requiere de las observaciones del operario al tratarse de un sensor más y por lo tanto el posicionamiento sobre el mapa se realiza automáticamente mediante software. El tratamiento informático mediante el uso de capas de información sobre mapas permite una manipulación más flexible y ágil, así como obtener representaciones visuales más sencillas de interpretar.

Partiendo de estas ideas, de combinar el uso de un vehículo y tecnologías SIG a la hora de medir los niveles de iluminación en tramos urbanos, y junto con la colaboración de *Rubatec S.A.* (empresa encargada del mantenimiento del alumbrado de diversos distritos de



Barcelona), se plantea el desarrollo del sistema mostrado en este proyecto con el fin de poner a disposición de las empresas mantenedoras de alumbrado una herramienta para realizar controles y seguimientos de las prestaciones de las instalaciones que les ayude a la toma de decisiones sobre políticas de mantenimiento y de nuevas instalaciones.



# 1. Introducción

## 1.1. Objetivo

El objetivo principal de este proyecto es el de desarrollar un sistema para el estudio de niveles de iluminación en áreas urbanas mediante un proceso ágil y sencillo, de forma que posibilite el estudio del nivel de servicio del alumbrado de áreas relativamente grandes como pueden ser municipios. Para ello el sistema empleará un sistema de información geográfica (SIG) y un automóvil para realizar las mediciones en movimiento.

La principal aplicación del sistema sería proporcionar a empresas encargadas del mantenimiento del alumbrado más información sobre el funcionamiento de las instalaciones que mantienen a través de mapas e informes sobre la situación y evolución de las prestaciones de los equipos de alumbrado, para que, a partir de estos datos, puedan establecer políticas más eficientes de mantenimiento y de nuevas instalaciones.

## 1.2. Alcance

El presente proyecto comprende el desarrollo un prototipo funcional de la herramienta a partir de un hardware y librerías de software SIG existentes en el mercado.

Se enfoca hacia el estudio de las características del alumbrado a partir de medidas de iluminancia horizontales realizadas mediante un vehículo en movimiento. Por lo tanto queda fuera del proyecto el intentar extrapolar las medidas realizadas a alturas diferentes a la del vehículo (como el suelo) o zonas donde no se puede circular (fuera de calzada).

La herramienta propuesta es de carácter puramente informativo, no vinculante, siendo útil para elaborar mapas lumínicos comparativos y proporcionar información sobre los valores de iluminancia medidos, con el objetivo de ayudar al responsable de mantenimiento en la toma de decisiones, pero en cualquier caso el sistema se limita a mostrar la información sin emitir valoraciones sobre aspectos luminotécnicos o de mantenimiento. Así mismo el presente proyecto no contempla el estudio de las consecuencias que pueda tener la implantación del sistema sobre el mantenimiento.





## 2. Evaluación del nivel de servicio del alumbrado público

En este capítulo se describen a grandes rasgos los criterios y la metodología empleados por el sistema desarrollado para poder evaluar las prestaciones lumínicas de las instalaciones, así como también se describen someramente los conceptos básicos en los que se basan, algunas metodologías habitualmente empleadas para la evaluación de las instalaciones o algunas nociones sobre alumbrado público y su mantenimiento.

### 2.1. Conceptos previos de iluminación

La luz (del latín lux, *lucis*) es el agente físico que hace visibles los objetos. En otras palabras, la luz es una onda electromagnética capaz de ser percibida por el ojo humano y cuya frecuencia determina su color [3]. El ojo humano es capaz de ver longitudes de onda comprendidas entre 360 nm (violeta) y 830 nm (rojo) aproximadamente, situándose alrededor de 555 nm la mayor sensibilidad. Como onda electromagnética la luz es una forma más de energía, por lo que, en un principio, el tratamiento matemático debería ser el mismo que las demás energías. Pero la realidad es que el ojo humano únicamente percibe únicamente una determinada franja del espectro de longitudes de onda emitido por las fuentes de luz, así pues es necesario para las aplicaciones de iluminación emplear términos que tengan en cuenta únicamente la franja visible de la energía emitida.

#### 2.1.1. Flujo luminoso

Para ello se define el concepto de flujo luminoso  $\Phi$ , que es la cantidad de potencia emitida o recibida por un cuerpo en espectro visible. Aunque se podría medir en vatios [W], se define una unidad específica para el flujo luminoso, el lumen [lm] y su relación con el vatio [W] se define como:

1 W de luz de 555 nm de longitud de onda equivale a 683 lm.

#### 2.1.2. Eficacia luminosa

Para valorar el rendimiento lumínico de una fuente emisora de luz se define la eficacia luminosa como el cociente entre el flujo luminoso  $\Phi$  y la potencia total consumida por la fuente.



### 2.1.3. Intensidad luminosa

El flujo luminoso tiene en cuenta la cantidad de energía emitida por un cuerpo en todas las direcciones. La distribución de la energía puede no ser uniforme, por lo que se hace necesario definir la intensidad luminosa  $I$  en una dirección dada como el flujo luminoso  $\Phi$  por unidad de ángulo sólido [str] en esa dirección. La unidad de la intensidad luminosa es la candela [cd].

### 2.1.4. Iluminancia

Para medir la cantidad de luz que llega a una superficie se define la iluminancia  $E$  como el cociente entre el flujo luminoso  $\Phi$  y la superficie  $S$  que lo recibe. La unidad empleada es lux [lx], que sería equivalente a  $1 \text{ lm/m}^2$ .

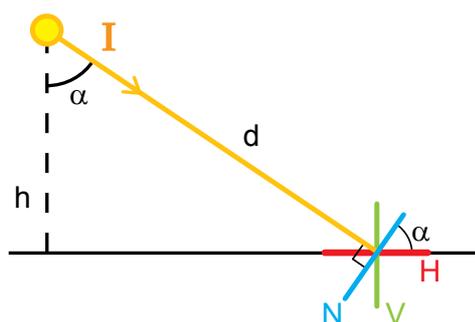
$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (\text{Ec. 2.1.4.1})$$

También se puede definir la iluminancia en un punto a partir de la intensidad y la posición del punto respecto de la fuente mediante la ley inversa de los cuadrados en un plano horizontal  $H$ , vertical  $V$  y perpendicular a la dirección de incidencia  $N$ :

$$E_N = \frac{I}{d^2}$$

$$E_H = \frac{I \cdot \cos \alpha}{d^2} = \frac{I \cdot \cos^3 \alpha}{h^2} \quad (\text{Ecs. 2.1.4.2})$$

$$E_V = \frac{I \cdot \sin \alpha}{d^2} = \frac{I \cdot \cos^2 \alpha \cdot \sin \alpha}{h^2}$$



[Fig. 2.1.4.1](#) : Iluminancia en función de la intensidad.



### 2.1.5. Luminancia

La iluminancia da una idea de la cantidad de luz que recibe una superficie, pero no da una idea de la cantidad de luz que recibe el ojo humano (ya sea directamente de la fuente de luz o de luz reflejada por los objetos). Se define entonces la luminancia  $L$  como la intensidad luminosa  $I$  dividido por la superficie aparente  $S_{aparente}$  en una dirección determinada. Se define como superficie aparente en una dirección como la superficie proyectada en el plano perpendicular a dicha dirección de la superficie estudiada  $S$ .

$$L = \frac{I}{S_{aparente}} = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha} \quad (\text{Ec. 2.1.5.1})$$

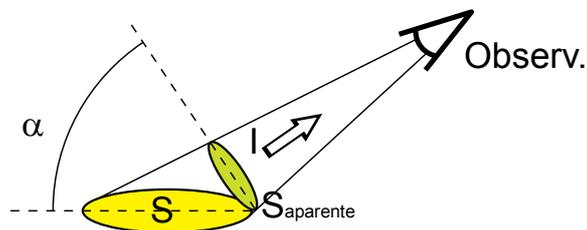


Fig. 2.1.5.2 :Luminancia.

Al tratarse de una magnitud que valora la luz reflejada por los objetos en dirección a un observador para su cálculo se han de tener en cuenta, además de los datos sobre la propia instalación, datos como la posición del observador y la posición y características de reflexión de los objetos que componen la escena.

## 2.2. Alumbrado público

El alumbrado público tiene como objetivo fundamental el de proporcionar, durante las horas carentes de luz natural, unas condiciones de visibilidad que permitan la utilización de áreas publicas por parte de las personas sin riesgos para su seguridad y bienestar [4].

La influencia del alumbrado público en el conjunto de las actividades humanas se puede resumir en los siguientes aspectos:

- Reducción de la siniestralidad de tráfico en vías urbanas e interurbanas.
- Incremento de seguridad de personas y propiedades y reducción de criminalidad.
- Mejor aprovechamiento de las infraestructuras al extender horarios y mejorar las condiciones de uso.



- Reducción de la duración de los viajes debido a la mayor velocidad que permite una mejor iluminación.
- Incremento de la actividad comercial, turística y cultural.
- Mejora estética aprovechando las posibilidades artísticas de la luz.

Zonas peatonales, comerciales, industriales, de interés histórico-artístico o vías principales, secundarias y túneles no tienen iguales requerimientos de nivel de iluminación o de forma de ser iluminados, por lo que se deben considerar diferentes criterios a la hora de ser diseñar y evaluar sus instalaciones, de forma que, además de alumbrar de forma correcta según la actividad realizada en la zona, las instalaciones sean lo más eficiente posible en términos económicos y ambientales.

### **2.2.1. Mantenimiento del alumbrado**

El diseño y ejecución suponen un periodo breve pero importante en el ciclo de vida de las instalaciones de alumbrado, pero el desarrollo de la función para la que han sido diseñadas y ejecutadas se prolonga durante muchos años y el efecto de diversos factores puede producir desviaciones notables en las prestaciones de las instalaciones respecto a los valores de diseño iniciales. Las instalaciones de alumbrado no son equipamientos que se deban olvidar una vez instaladas, requieren un seguimiento y una serie de operaciones de mantenimiento para garantizar la iluminación correcta dentro de unos parámetros luminotécnicos aceptables, reducir la depreciación de los componentes, reducir tiempos de no prestación de servicio, así como mantener la seguridad y eficiencia de los equipos.

Los principales factores que afectan al rendimiento y funcionamiento de las instalaciones en cuanto a prestaciones lumínicas son según *CIE 33* [5]:

- Fallos por mortalidad o mal funcionamiento de los componentes.
- Acumulación de suciedad y polvo en el exterior e interior de las luminarias debido a la contaminación atmosférica.
- Reducción del flujo luminoso emitido por las lámparas por envejecimiento.
- Deterioro y envejecimiento de las superficies transmisoras o reflectoras debido a oxidación, efectos del calor y la radiación ultravioleta, efectos químicos, etc.
- Descentrado de componentes ópticos.
- Vibraciones impuestas al material y distorsión causada por accidentes.
- Excesivo aumento o baja de temperatura dentro del artefacto.
- Fallo prematuro del equipo auxiliar.



- Voltaje incorrecto en los terminales de la instalación.
- Factor de balasto (dato relativo a los equipos de encendido y control de la corriente de las lámparas de descarga).

También pueden existir causas ajenas a los equipos que afecten al flujo útil emitido, como pueden ser apantallamientos no previstos (arbolado próximo, nuevas construcciones, señalizaciones o mobiliario urbano, etc.) y que pueden requerir operaciones no propias del mantenimiento de alumbrado.

Dentro de las operaciones de mantenimiento se pueden encontrar dos tipos: operaciones correctivas y preventivas. Las operaciones de mantenimiento correctivo consisten en reparaciones puntuales que se realizan cuando se detecta un fallo o deficiencia en la instalación. Las operaciones de mantenimiento preventivo (o programado) corresponden a actuaciones que, pese a que las instalaciones son funcionales, pretenden obtener el funcionamiento óptimo de las instalaciones (en términos de rendimiento económico, lumínico, vida útil de los elementos, tasas de fallos aceptables, etc.), como pueden ser sustituciones masivas de lámparas, luminarias y equipos, limpieza de luminarias, etc.

Mientras que para la etapa de diseño existen abundantes métodos y estudios, la realidad es que la gestión y explotación de las instalaciones de alumbrado se basa en métodos empíricos y costumbres adquiridas, de forma que, en la práctica, se observa un gran número de instalaciones que presentan deficiencias de estado o de servicio atribuibles a una carencia de análisis sobre las prestaciones reales [6]. Consecuencias de estas deficiencias que pueden ser:

- Nivel de servicio inferior al necesario (afectando a la seguridad y al bienestar) o superior al necesario (consumo excesivo, contaminación lumínica).
- Menor eficiencia energética y durabilidad de los componentes (mayores costes de operación y mantenimiento).

Es la necesidad de conocer las prestaciones reales de las instalaciones el motivo y la necesidad que se desea cubrir en el proyecto presente, para que, una vez analizadas y evaluadas dichas prestaciones permitan establecer y justificar actuaciones de mantenimiento preventivo que reduzcan los costes de mantenimiento preventivo (periodos de limpieza más ajustados al ritmo de depreciación por suciedad de las lámparas, por ejemplo), de mantenimiento correctivo (una parte de este puede reducirse con un mantenimiento preventivo más adecuado) y costes de operación (por ejemplo cuando el sobreconsumo sin mayor prestación de un elemento sea más costoso cambiarlo por uno nuevo). Así mismo, el conocimiento adquirido de medir las prestaciones reales de las instalaciones puede ser útil a la hora de diseñar instalaciones teniendo en mente el



mantenimiento de estas basándose en el comportamiento observado de la zona donde se realizará la instalación o del comportamiento de los equipos que se van a emplear.

## 2.3. Evaluación del nivel de servicio

### 2.3.1. Criterios de calidad del alumbrado de vías públicas

Los principales parámetros empleados para la evaluación de una instalación de alumbrado de vías públicas en términos de seguridad y visibilidad, es decir los meramente luminotécnicos, son según el CIE [7]:

#### Luminancias medias

Es una magnitud representativa de la sensación percibida por el ojo, puesto que tiene en cuenta no sólo la luz emitida sino también la reflejada por los objetos en la dirección del observador. Por lo tanto es una magnitud válida para evaluar cualquier zona en cuestiones de iluminación, pero su complejidad en el cálculo (depende de las características de reflexión de la escena), así como en las mediciones, limita su uso.

#### Iluminancias medias

Corresponde al valor medio de la iluminancia en una superficie determinada. Es un valor que no depende de la posición del observador ni de las características de reflexión del entorno, por lo que es fácil de medir y de calcular. Esto hace de las iluminancias medias un patrón de diseño habitual a la hora de calcular instalaciones de alumbrado y un parámetro fácil de evaluar. Las iluminancias más empleadas son:

- *Iluminancia media horizontal*: es aquella medida en un plano horizontal. Es la más aceptada y válida para todos los ámbitos del alumbrado público, sobretodo en calzadas. Salvo otras indicaciones siempre suele referirse al plano horizontal del suelo.
- *Iluminancia media semicilíndrica*: es aquella medida en una superficie de forma semicilíndrica, generalmente a 1,5 metros del suelo. De adopción relativamente reciente, el ámbito de uso es en zonas peatonales y sirve para dar una idea de si la iluminación es suficiente para poder reconocer a una persona y determinar con antelación si se aproxima con una actitud "hostil".



## Uniformidades

No solamente es importante la cantidad de luz involucrada (medida mediante luminancias o iluminancias), sino que su distribución también lo es. Por ejemplo, una calle con una iluminancia media correcta puede resultar de una mitad de la calle con una iluminancia excesiva y la otra mitad con una iluminancia deficiente, con lo que en cualquier caso, pese a una iluminancia media correcta, se trataría de una iluminación inadecuada que podría provocar una baja visibilidad en alguna zona. Para ello se definen valores como los siguientes:

- Uniformidad general ( $U_g$ ): Se define como el valor mínimo de luminancia dividido entre la luminancia media.
- Uniformidad longitudinal ( $U_l$ ): Se define como el valor mínimo de luminancia a lo largo de un eje longitudinal dividida por el valor máximo de luminancia a lo largo del mismo eje.
- Uniformidad media ( $U_m$ ): Se define como el valor mínimo de iluminancia dividido entre la iluminancia media.
- Uniformidad extrema ( $U_e$ ): Se define como el valor de mínimo de iluminancia dividido entre el valor máximo de iluminancia.

## Deslumbramientos

Se consideran dos tipos de deslumbramiento en el campo del alumbrado público:

- Deslumbramiento molesto: Indica sensación de molestia que puede provocar la instalación de alumbrado, sin tener en cuenta si perjudica o no la capacidad visual.
- Deslumbramiento perturbador: Es aquel que provoca una reducción de visión, sin tener en cuenta si produce o no molestia visual. Es por lo tanto un valor crítico en la seguridad vial y además de un parámetro perfectamente objetivo y con una metodología de cálculo establecida.

## Coefficiente de iluminación de los alrededores

Se obtiene calculando la iluminancia media de dos franjas de cinco metros de ancho a cada lado de la calzada y dividiendo por la iluminancia media de la calzada. Sirve para valorar la visibilidad de los objetos y personas adyacentes a la vía, siendo un valor importante a la hora de reducir la posibilidad de accidentes, como por ejemplo de atropellos.



## Guiado visual

Es la capacidad de la iluminación de transmitir información sobre la vía, como puede ser la orientación, el recorrido de la vía, desvíos, incorporaciones, señalizaciones, etc.

### 2.3.2. Definición de nivel de servicio empleada

El concepto de nivel de servicio de un sistema de alumbrado empleado en el presente proyecto abarca únicamente la evaluación de las prestaciones del sistema en términos lumínicos, aunque en otros estudios o ambientes técnicos la definición de nivel de servicio puede englobar otros factores como pueden ser costes, consumos, tiempo de servicio o sin servicio, estética o contaminación lumínica entre otros. La evaluación de estos otros criterios escapa del objetivo del proyecto, si bien la herramienta desarrollada puede proporcionar información útil para valorarlos, contrastarlos y/o justificarlos frente a las prestaciones lumínicas que proporcionan.

De los parámetros y magnitudes citados en el apartado 2.3.1, desde el punto de vista de diseño, es necesario tenerlos en cuenta todos (al menos en vías transitadas), pero desde el punto de vista de verificarlos en el campo no todos son igual de útiles o sencillos de evaluar. Por ello, para elegir la magnitud y/o parámetros a medir es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones [6]:

- Debe ser representativo/a del beneficio/eficacia del alumbrado.
- Medurable con la rapidez y precisión que la metodología establecida requiera.
- Comparable con valores de referencia convenientemente establecidos.

Los deslumbramientos, el coeficiente de iluminación de alrededores y guiado visual dependen esencialmente del correcto diseño y ejecución de la instalación (posición de las luminarias, distribución de la luz, etc.) por lo que salvo en algunos casos, como alteración de la orientación de reflectores por ejemplo, su variación en el tiempo es mínima o bien esta se puede observar en la variación de valores no tan complejos de medir, como por ejemplo luminancias, iluminancias e uniformidades (por ejemplo, un cambio de orientación de un proyector que pueda provocar deslumbramiento tendrá también repercusiones en las iluminancias medias y en las uniformidades). De esta manera, partiendo de instalaciones correctamente ejecutadas, es posible valorar la variación de la calidad del alumbrado a partir de la variación de las medidas de luminancias, iluminancias o uniformidad, resultando valores representativos de la eficacia del alumbrado.

Tanto la iluminancia media como la uniformidad media ( $U_m$ ) son sencillas de medir en una instalación puesto que la metodología es simple y el instrumental tiene un coste asequible.



Básicamente se trata de medir la luz que llega a una superficie realizando un conjunto de medidas en diferentes puntos representativos de la superficie y calcular los valores de iluminancia media y uniformidad a partir de ellos. En cambio, la medición de la luminancia y las uniformidades derivadas de ella son más complejas puesto que no depende de la superficie únicamente sino también de la posición del observador. Si además, a este factor, se le añade que el equipo necesario para medir luminancias tiene un coste mucho más elevado que para medir iluminancias es comprensible que los parámetros basados en la iluminancia sean generalmente más empleados que los basados en la luminancia a la hora de evaluar las prestaciones lumínicas de una instalación, pese a que la luminancia y sus uniformidades representan mejor la percepción visual que proporciona el sistema de alumbrado. Es habitual entonces, por ejemplo, que recomendaciones sobre el alumbrado, como muchas de la CIE [7], se proporcionen en valores de iluminancias medias y uniformidades.

Considerando la utilización de un vehículo en el sistema desarrollado, y por lo tanto midiendo sobre calzadas, la iluminancia a considerar es la iluminancia media horizontal, más representativa de la calidad de alumbrado de la calzada. La iluminancia media semicilíndrica no sería tan adecuada, puesto que tiene sentido medirla en zonas peatonales, donde, además, el vehículo no puede circular.

Por lo tanto, por razones de coste y simplicidad de implementación del sistema y para que sea representativo del comportamiento del alumbrado, se define el nivel de servicio en el ámbito de este proyecto en términos dependientes de medidas de iluminancia, más concretamente en valores de iluminancias medias horizontales y uniformidades derivadas de iluminancias.

### **2.3.3. Generalidades sobre las mediciones de iluminancias**

Una vez definido el nivel de servicio en parámetros basados en medidas de iluminancias es necesario observar algunas generalidades sobre la medición de iluminancias y el cálculo de iluminancias horizontales medias e uniformidades a partir de éstas. La iluminancia se mide con un dispositivo denominado luxómetro. Su funcionamiento se basa en el uso de un fotodiodo de selenio o silicio con diversos filtros y difusores para aproximar su sensibilidad a la del ojo humano, recogiendo su señal un amplificador y calculando el valor de la iluminancia en lux a partir de ésta.

Para reducir errores y variabilidad de las mediciones es aconsejable emplear luxómetros con las siguientes especificaciones [8]:

- De alta sensibilidad y calibrado/contrastado por laboratorio oficial.
- Corrección de coseno por encima de 85°.



- Corrección cromática, según CIE, de acuerdo con la distribución espectral de las fuentes luminosas empleadas, y su respuesta debe ajustarse a la curva media de sensibilidad  $V(\lambda)$ .
- La sensibilidad al coeficiente de temperatura comprendida en el rango temperaturas de funcionamiento del aparato.

Otras consideraciones en cuanto al procedimiento de toma de medidas manuales que deben tenerse en cuenta para el luxómetro que:

- Antes de tomar lecturas se deberá exponer durante unos minutos el luxómetro a niveles de iluminación semejantes a los que se van a medir para que se estabilicen las medidas.
- Las medidas se deben realizar siempre con el sensor en posición horizontal (en el caso de las iluminancias medias horizontales).

También es necesario considerar antes de las medidas de iluminancia otros factores externos, que si no se controlan pueden conducir a conclusiones erróneas. Estos son principalmente:

- *Características de la instalación:* Tipo de lámparas, de luminarias, de balasto, etc.
- *Estado de la instalación:* Historial de operaciones de mantenimiento, edad de los equipos, tiempo de funcionamiento antes de la medida, regulación de flujo, tensión de alimentación durante las medidas, etc.
- *Condiciones ambientales:* Temperatura, visibilidad, etc.

De estos factores debe remarcarse especialmente el estado y tipo de lámparas en cuanto a la estabilización de su flujo luminoso, recomendando Martín F. [9] que las medidas se realicen cuando las lámparas lleven más de 100 horas de funcionamiento en el caso de que sean nuevas y al menos 20 minutos después del encendido.

#### **2.3.4. Metodología habitual de medición de iluminancias horizontales**

La metodología habitualmente empleada para medir iluminancias medias horizontales y uniformidades es la denominada método “punto por punto” y que se basa en medir valores de iluminancia con el sensor horizontal a la altura del suelo colocado en diferentes puntos distribuidos uniformemente en forma de rejilla sobre la zona que se desea estudiar. Posteriormente se procede a calcular la iluminancia media a partir de la media de las iluminancias medidas (ponderando, si es necesario, cada iluminancia medida según la superficie que representa si todos los puntos no abarcan áreas iguales), y las uniformidades a partir de los valores máximos, mínimos y medios observados.



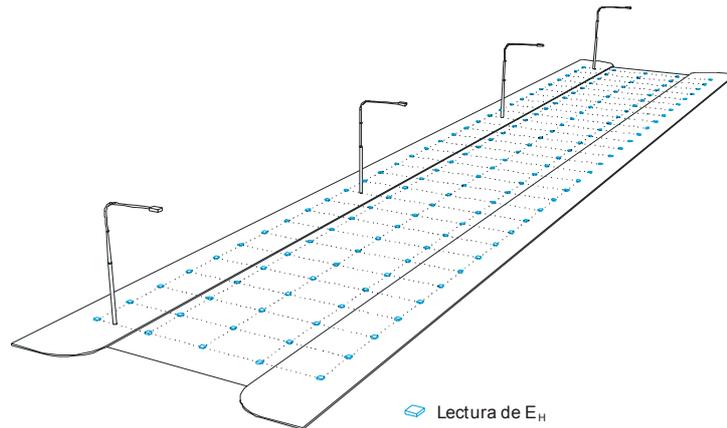


Fig. 2.3.4.3 :Ejemplo de rejilla para la medición de  $E_{Hmedia}$

Siendo una metodología flexible (se pueden poner tantos puntos como se quieran y en las zonas que se quieran) hay dos formas concretas más establecidas, que son el método de “los nueve puntos” y el método de “los doce puntos”, y que también se emplean en el cálculo teórico.

### Método de los nueve puntos

La zona a medir se elige según la distribución de los puntos de luz ( $A$ ,  $B$ ,  $C$ ) y debe ser representativa del tramo. Se divide la calzada de la zona de estudio en nueve zonas empleando nueve puntos centrales (del 1 al 9).

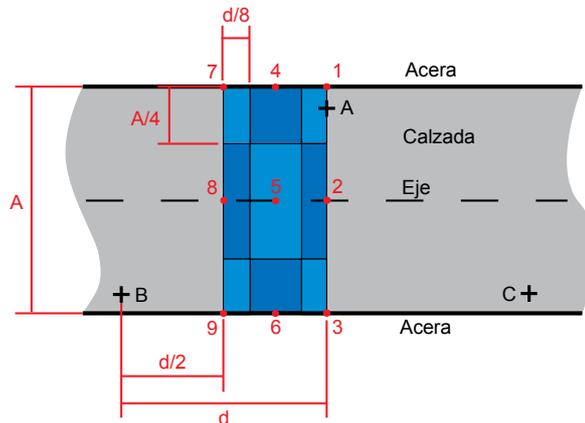


Fig. 2.3.4.2 : Ejemplo de rejilla para el método de los 9 puntos y distribución en tresbolillo de los puntos.



Dado que las nueve zonas no tienen áreas iguales es necesario ponderar para obtener la iluminancia media:

$$E_m = \frac{E_1 + 2E_2 + E_3 + 2E_4 + 4E_5 + 2E_6 + E_7 + 2E_8 + E_9}{16}$$

### Método de los doce puntos

Siendo empleadas las mismas zonas que para el método de nueve puntos (según la distribución de los puntos de luz), en esta ocasión se toman doce puntos en la calzada (filas B, C, D y E; puntos P<sub>i</sub>) y seis puntos en la acera (filas A y F; puntos R<sub>i</sub>), estando generalmente situados los bordillos sobre las líneas B y E y los ejes de circulación sobre C y E.

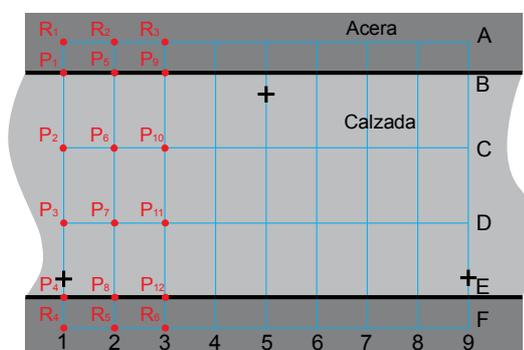


Fig. 2.3.4.3 :Rejilla para el método de los 12 puntos en tresbolillo.

Separando lo que es acera y lo que es calzada se puede estudiar la iluminancia media y uniformidades de forma separada para cada parte o bien juntas. Según el método no se ponderan las zonas, considerándolas todas iguales a efectos de cálculo, por lo tanto:

$$E_{m,acera} = \frac{\sum R_i}{6} \quad E_{m,calzada} = \frac{\sum P_i}{12}$$

Pese a ser flexibles a la hora del número de medidas y zonas a estudiar, los métodos “punto por punto” tiene una serie de desventajas que se intentan subsanar parcialmente en el presente proyecto:

- Se trata de un proceso manual: se realizan las medidas colocando un sensor de iluminancia uno de los puntos que se desean estudiar, se anota la medida obtenida y se mueve el sensor hasta el siguiente punto hasta completar el total de puntos a



estudiar, para después calcular los valores de iluminancia media y uniformidades a partir de los valores anotados. El ser un proceso lento y laborioso tiene su coste económico y práctico, reduciendo su uso a áreas pequeñas (con un número limitado de medidas) o áreas de especial interés luminotécnico.

- Puede necesitar el corte de las vías de tránsito para tomar las medidas sobre la calzada. El tráfico es un impedimento a la hora de medir, por lo que evitarlo, ya sea desviando el tráfico o bien esperar a que no circule nadie cuando esto sea posible hace aún más lento el proceso.
- Las condiciones de la zona de estudio no tienen que ser las mismas a lo largo de la vía a la que pertenece. Existen factores que pueden condicionar notablemente la uniformidad de la iluminación de una zona a pesar de la uniformidad de equipamiento y posición de puntos de luz, por lo que es crítico elegir una zona donde hacer las medidas representativa de lo que se pretende estudiar. En la misma calle y en distintas zonas, pero con la misma distribución de punto de luz, la iluminancia media puede ser muy diferente debido, por ejemplo, a un mantenimiento ineficaz, a la presencia de luces de comercios cercanos, a la presencia de arbolado que apantalle, etc. Por lo tanto debe tenerse cautela al extrapolar la iluminancia media o la uniformidad de una calle considerando únicamente un sector, que apenas puede comprender una longitud de la calzada igual a la mitad de la interdistancia entre los puntos de luz.

Los métodos “punto a punto” son los más establecidos en la actualidad ya que permiten una comparación directa entre los valores de iluminancia media y uniformidades obtenidos y los valores de referencia generalmente aceptados para definir la correcta iluminación de una área, como pueden ser, por ejemplo, valores de iluminancia media y uniformidades recomendados por la CIE según el tipo de zona.

### **2.3.5. Medición de iluminancias mediante vehículo**

Una de las ideas de partida del presente proyecto era la utilización de un vehículo a la hora de realizar las medidas. De esta forma se agiliza la toma de datos, haciendo la tarea de medir una calle entera un proceso tan simple y rápido como recorrerla en coche. Pudiendo estudiar grandes áreas de esta forma también se evita el extrapolar valores a partir de una zona representativa de la calle, proporcionando así una visión más ajustada a la realidad. Otra ventaja derivada es que no son necesarios los cortes de circulación para tomar medidas sobre la calzada, ya que el vehículo puede integrarse en el tráfico.

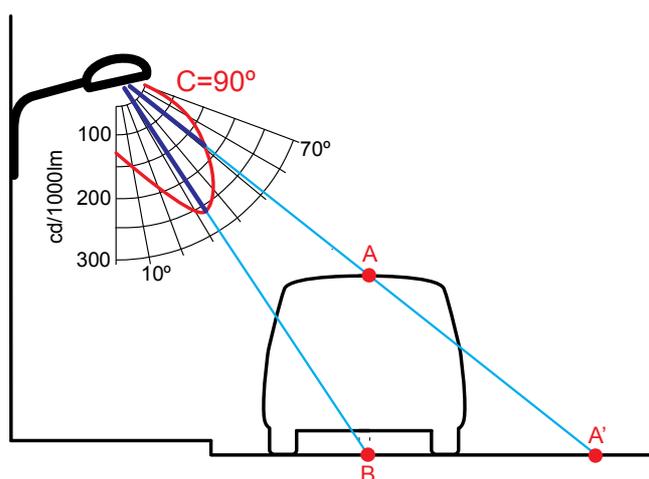
Existen, en cambio, dos limitaciones que afectan notablemente a la hora de comparar la metodología habitual a la metodología empleando un vehículo:



- *El sensor de iluminancia no puede colocarse a nivel del suelo:* A causa de posibles interferencias mecánicas con elementos de la vía y por la posible influencia sobre las medidas que puedan tener las sombras y el alumbrado del propio vehículo y de los otros que están circulando, es necesario montar el sensor de iluminancia sobre el techo del vehículo (entre 1,4 y 1,8 metros, según modelo).
- *El alcance del sensor no es el mismo que al tomar las medidas de forma manual:* Las posiciones posibles para realizar medidas están limitadas por los lugares por donde pueda circular el vehículo. Es decir, únicamente se pueden medir sobre los ejes de los carriles por los que está permitido circular, excluyendo posiciones fuera de esos ejes como pueden ser aceras o carriles bici.

La consecuencia principal derivada de estas dos limitaciones es que las iluminancias medias y uniformidades obtenidas de esta manera y por los métodos habituales no son, a priori, valores comparables.

En la figura 2.3.5.1 se puede observar, mediante la curva de distribución luminosa (diagrama polar) superpuesta, que la intensidad luminosa puede ser diferente en los puntos A y B, variando según la disposición de los elementos y la forma de distribuir la luz de la luminaria. Es, por lo tanto, imposible de extrapolar la iluminancia en el punto B (en el suelo) a partir de la iluminancia observada en el punto A (techo del vehículo) sin conocer con detalle la posición de los elementos y las características de la luminaria. Si las medidas de iluminancia no se pueden relacionar en planos diferentes, como es el caso del presente proyecto en el que no intervienen en los cálculos datos de los elementos, los parámetros basados en una medida puntual, como pueden ser las uniformidades tampoco serán comparables en un plano y en otro.



**Fig. 2.3.5.1** :Gráfico mostrando diferentes intensidades involucradas a alturas distintas.



Pese a ello, la evolución de las iluminancias puntuales a lo largo del recorrido muestra comportamientos parecidos aun tratándose siempre de valores diferentes en las dos alturas. En la figura 2.3.5.2 se pueden observar evoluciones de iluminancias parecidas entre dos puntos de luz en una simulación mediante el programa de simulación SIBA (desarrollado en la UPC) con luminarias a 8 metros de altura, separadas 25 metros y equipadas con lámparas de 150 W de vapor de sodio de alta presión. Dependiendo del carril no solamente el comportamiento es similar, sino que prácticamente también lo son los valores (líneas azules). Se observa lo anteriormente comentado, los valores de iluminancia no son iguales en planos diferentes, y la diferencia entre ellos depende entre otros factores de las posiciones de los elementos involucrados.

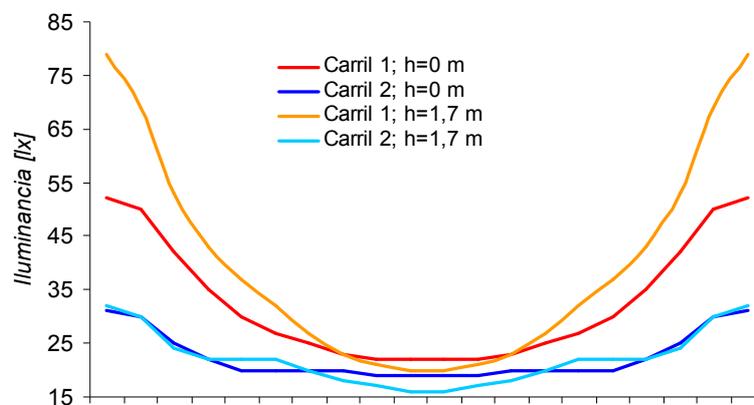
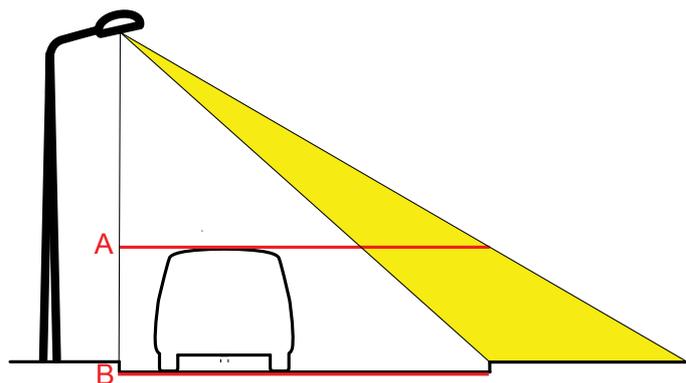


Fig. 2.3.5.2 :Gráfico de evolución de las iluminancias a diferentes alturas y diferentes carriles.

En el caso de las iluminancias medias la situación podría ser diferente al no depender de medidas puntuales sino del conjunto de ellas; la iluminancia media se había definido como el flujo lumínico dividido por la superficie que se estudia. En la figura 2.3.5.3 se puede observar que a pesar de tratarse superficies iguales en el plano A y B, nuevamente según la disposición de los elementos el flujo puede ser diferente en ambos planos (en amarillo la diferencia). El flujo del plano B sólo cubre una parte de la superficie en el plano A, resultando más denso en esa zona, provocando los valores máximos mayores de iluminancia que se observan en la figura 2.3.5.2 (color naranja) respecto a nivel del suelo (color rojo). Si además tenemos en cuenta que el vehículo puede medir en la zona de flujo adicional (zona amarilla) donde la intensidad de la luz puede ser diferente (según la curva de intensidad luminosa) las iluminancias medias pueden diferir más aun.





[Fig. 2.3.5.3](#) :Esquema de diferencia de flujo entre ambos planos.

Por otro lado, además, hay que tener en cuenta que, por el hecho de circular en un vehículo, éste no puede acceder a todos los sitios donde se podrían o desearían hacer medidas mediante otros métodos, como islas o aceras por ejemplo, que pueden tener un peso importante en la media, de forma que no se podrían hacer distribuciones de medidas tan regulares y equiespaciadas como las rejillas de los métodos “punto por punto” y afectando a la representatividad de la media obtenida sobre toda la zona.

A partir de lo anteriormente expuesto se puede decir que, generalmente, los valores de iluminancias medias y uniformidades obtenidos por métodos “punto a punto” y mediante el uso de un vehículo no son valores comparables. Así mismo, los valores obtenidos mediante un vehículo tampoco son comparables con los valores de referencia generalmente empleados, como los del CIE, que se refieren a nivel del suelo y medidas de iluminancia no solamente sobre los ejes de la calzada. Este hecho hace que la de las medidas realizadas mediante vehículo no sea una metodología que pueda sustituir a las metodologías “punto por punto”, pero si puede complementarlas y ser útil desde el punto de vista del mantenedor del alumbrado, puesto que el comportamiento y evolución de los valores será parecido en ambas metodologías. Es decir, estudiando el comportamiento de las medidas a lo largo del tiempo (entre diferentes sesiones de medidas diferentes días) y a lo largo del recorrido (en una misma sesión de medidas con la distancia) mediante el vehículo puede permitir sacar conclusiones sobre el comportamiento y evolución de las iluminancias medias y uniformidades que se obtendrían por métodos “punto a punto”. Por ejemplo, una reducción en el flujo por suciedad o depreciación de las lámparas en las luminarias afectará tanto a los valores obtenidos por un método como en otro, por lo tanto si se encuentra un descenso de la iluminancia media por un método es de esperar que por el otro también se encuentre un descenso parecido. De la misma manera sucedería con las uniformidades, un descenso de la uniformidad media por una lámpara fundida implicaría descenso de la uniformidad media obtenida por ambos métodos. Este comportamiento se puede observar en las ecuaciones 2.1.4.2, donde se expresa los valores de la iluminancia en función de la



intensidad. De esta manera, al depender linealmente la iluminancia de la intensidad, hace que una variación de las intensidades (por suciedad uniforme o depreciación de la lámpara) afecte de la misma manera, en un porcentaje común determinado, a todas las iluminancias. En el caso de que haya más de un punto de luz, hay que considerar la influencia de los diversos puntos en las diferentes posiciones medidas, pero en el caso de comparaciones en planos con diferentes alturas, debido a la disposición horizontal de los puntos de luz la influencia será parecida entre dos puntos sobre la misma vertical (misma distancia de los puntos aproximadamente).

Así pues, resumiendo, si bien la metodología de medición de iluminancias con un vehículo no puede proporcionar valores absolutos y comparables con los valores generalmente establecidos sobre las prestaciones de las instalaciones, sí que puede ser útil al encargado del mantenimiento para controlar y hacer el seguimiento de las instalaciones y de la efectividad las actuaciones realizadas de una forma mucho más ágil y sencilla.





### 3. Sistemas de información geográfica

En el presente capítulo se hace una descripción breve y sin entrar en demasiado detalle del concepto y funcionamiento de un sistema de información geográfica (de aquí en adelante denominado como SIG) a modo de introducción a la implementación del SIG descrito en el presente proyecto.

En el año 1854 el Dr. John Snow se dedicó a cartografiar la incidencia de los casos de cólera sobre un mapa de Londres. Conociendo el número de casos, fechas y lugares donde fueron localizados los casos y la posición de las posibles fuentes de contagio fue posible localizar con precisión el pozo de agua contaminado causante del brote. Si bien el concepto de relacionar datos, atributos, causas y consecuencias a través de posiciones en un mapa no es nuevo, utilizándose desde hace mucho tiempo (por ejemplo, pinturas de cazadores de hace 35000 años en Lascaux, Francia, aparecen dibujos de animales junto a croquis de lo que parecen ser sus rutas migratorias), es en los últimos tiempos, con el desarrollo de tecnologías de posicionamiento y procesamiento de la información, cuando el concepto madura y se perfecciona lo suficiente como para erigirse como una herramienta revolucionaria por su versatilidad y prácticamente imprescindible en la gestión, planificación y modelización de cualquier aspecto que afecte al territorio a gran escala, como pueden ser agricultura, ganadería, pesca, fauna, urbanismo, catastro, seguridad/emergencias, infraestructuras, medioambiente, sanidad, geología, hidrología, meteorología, explotación de materias primas, geomarketing, logística, etc. incluyendo cualquier campo de aplicación que tenga una componente espacial.

Actualmente un sistema de información geográfica puede ser definido como “un sistema de información basado en el uso de sistemas informáticos que intenta capturar, almacenar, manipular, analizar y visualizar datos espacialmente referenciados e información tabulada asociada para resolver problemas complejos de investigación, planificación y gestión” [10]. Dicho con otras palabras y de manera imprecisa, se podría definir SIG como un software que asocia cartografía con bases de datos alfanuméricas permitiendo al usuario realizar consultas interactivas, editar la información, realizar análisis espaciales y crear nuevas y más descriptivas formas de representación de la información.

Todo SIG consta de los siguientes elementos:

- **Software:** Proporciona las funciones y herramientas necesarias para capturar, integrar, almacenar, compartir, editar, analizar y visualizar la información geográfica.



- *Hardware*: Constituye el soporte físico empleado por el software y puede incluir herramientas de apoyo al software a la hora de digitalizar la información, como por ejemplo sensores.
- *Datos*: Es el componente principal y el protagonista de un SIG. Se clasifican en datos geográficos (cartografía) y datos tabulares (base de datos asociada).
- *Procedimientos*: La recolección y el tratamiento de los datos adopta una serie de metodologías, modelos y prácticas operativas para garantizar la validez y usabilidad de la información involucrada.
- *Equipo humano*: El correcto uso y desarrollo de un SIG requiere de la acción y el criterio de un personal, ya sean mantenedores o usuarios del sistema.

El funcionamiento de un SIG se basa en el almacenamiento y tratamiento de la información mediante el uso capas independientes que agrupan los diferentes datos según temáticas y que se relacionan entre ellas a través de la posición geográfica (ejemplo en la figura 3.1). Este concepto de organización de los datos, pese a su simplicidad, se muestra extremadamente potente y versátil, permitiendo tratamiento y generación de nuevas representaciones de los datos de forma fácil, rápida, dinámica y flexible.

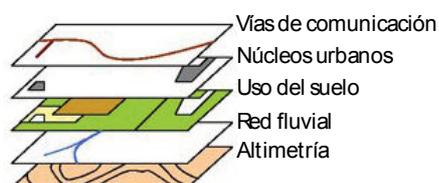


Fig. 3.1 : \_Ejemplo de organización de la información por capas.

Existen principalmente dos formas de manipular y tratar el espacio por los SIG's: mediante el modelo raster o el modelo vectorial (figura 3.2). El modelo raster se basa en las relaciones de proximidad entre las celdas (de tamaño según la resolución deseada) en las que esta dividido el territorio y a las cuales se les asignan los atributos necesarios. Es adecuado cuando la precisión requerida no es excesiva y las características del medio a representar son de variación continua o con límites poco definidos. En el modelo vectorial el espacio se representa y se trata a través de entidades geométricas, como son puntos, líneas, polilíneas y polígonos. De esta manera, el modelo vectorial se muestra muy útil y potente en el tratamiento de objetos geográficos con límites establecidos o estructurados en redes, además de ser más preciso al no depender la resolución de la escala o del tamaño de las celdas. La elección de una u otra forma de trabajo dependerá esencialmente



del objetivo al que se oriente el SIG y del tipo de datos manejados, pero en la actualidad la mayoría de software comercial para SIG's soporta ambos tipos de tratamiento.

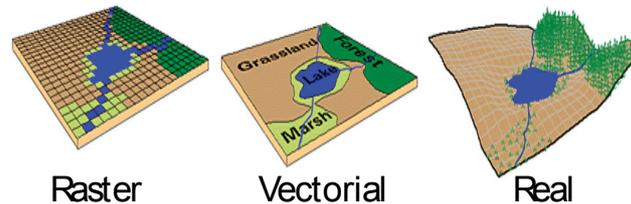


Fig. 3.2 : Esquemas de tratamiento del espacio en un SIG.

En los últimos tiempos ha aparecido un tercer tratamiento del espacio, denominado "orientado a objetos". Empezando a implementarse en algunos SIG's comerciales, todavía se muestra inmaduro pese a tener gran potencial. Mientras que modelos raster y vectorial se basan en la organización de la información mediante capas, en los sistemas orientados a objetos la información geográfica se organiza a través de procesos, clases y relaciones de herencia. Este tipo de estructura dotan de un carácter dinámico a la información contenida frente a la inmovilidad de las definiciones del espacio de modelos raster o vectoriales.

Las principales cuestiones que puede resolver un SIG de carácter generalista son [2]:

- *Localización*: Preguntar por las características de un lugar o zona concretos.
- *Condición*: El cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- *Tendencia*: Comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- *Rutas*: Cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- *Pautas*: Detección de pautas espaciales.
- *Modelos*: Generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

Los SIG de aplicación general realizan generalmente los siguientes tipos de tareas [11]:

- *Ingreso*: Tareas de digitalización y recolección de los datos cartográficos, geográficos y alfanuméricos necesarios. P. ej. Digitalización de planos del distrito de Londres o la obtención e introducción de los datos de contagios (dirección vivienda, fecha de detección, edad y peso del afectado, gravedad, etc.).



- *Manipulación*: Conversiones de los datos a formatos más sencillos, útiles y coherentes con el resto de la información (escala, unidades, datums, coordenadas, etc.). P. ej. conversión del peso de libras a kilogramos, conversión de dirección de la vivienda a coordenadas geográficas (geocodificación), conversión de los diferentes mapas a misma escala y datum.
- *Manejo/administración*: Labores de organización, gestión y almacenamiento de los datos.
- *Consulta*: Búsqueda de información en los contenidos de la base de datos según criterios espaciales, alfanuméricos o combinados. P. ej. Listado de contagios detectados entre dos fechas en un barrio.
- *Análisis*: Búsquedas de patrones, tendencias, o modelos de comportamiento de los datos mediante técnicas como:
  - *Análisis de proximidad*: Basados en las relaciones geométricas como distancias o inclusiones. P. ej. nº de casos de cólera en un radio de 100 metros de un determinado pozo.
  - *Análisis de superposición*: Basados en relacionar datos de diferentes fuentes o de distinto carácter. P. ej. superponer datos demográficos para determinar el número de contagios por mil habitantes de los diferentes barrios.
  - *Análisis de redes*: Basados en el estudio de estructuras malladas y ramificadas. P. ej. Cálculo de zonas afectadas por el brote al situarse la fuente de contagio en un punto de la red de distribución de agua para la vigilancia de puntos críticos.
- *Visualización*: Mostrar la información mediante representaciones adecuadas de los datos. P. ej. cartografiar conjuntamente capas con los casos detectados de cólera, fuentes de contagio, redes de alcantarillado y de distribución de agua para detectar la posición exacta del origen y los vectores de contagio.



## 4. Desarrollo e implementación

### 4.1. Introducción

La idea de origen del proyecto era desarrollar un prototipo de herramienta que, mediante la utilización de un vehículo para la toma de medidas y la gestión de la información mediante tecnologías SIG, permitiera la recolección y tratamiento de datos de iluminancias de grandes áreas de forma ágil y sencilla. De esta manera quedan ya definidas a grandes rasgos las soluciones empleadas, quedando por lo tanto la implementación técnica de las ideas de partida.

Con el objetivo de orientar esta implementación técnica hacia soluciones más útiles de cara al mantenimiento, en reunión con personal de una empresa de mantenimiento de alumbrado se determinó que el sistema debía contemplar las siguientes características:

- *Tratamiento visual de la información:* Organizando la información en mapas formados por capas (forma propia de los SIG's) permite disponer de la información de forma sencilla y visualizarla más rápidamente, de forma que se identifique y se muestre información detallada fácilmente sobre una determinada zona. Esto no excluye el poder mostrar y extraer la información mediante listados u otras formas más convenientes a la hora de elaborar informes.
- *Iluminancias, iluminancia media y uniformidad media:* Los valores a estudiar son las iluminancias medias y la uniformidad media en tramos de calles. Los mapas necesarios serían:
  - *Mapa de iluminancias medias medidas:* Muestra los sectores de estudio en una escala de colores según la iluminancia media a partir de las medidas en su interior.
  - *Mapa comparativo de iluminancias medias medidas y recomendadas:* A partir de la iluminancia media medida y un valor de iluminancia media de referencia introducido (recomendado) para cada sector muestra a través de una escala de color la magnitud de la diferencia entre ambos valores, permitiendo visualizar desviaciones entre la situación que debería ser y la que es.
  - *Mapa comparativo de iluminancias medias entre dos situaciones:* A partir de medidas de iluminancia tomadas en situaciones distintas muestra a través



de una escala de color la magnitud de la diferencia de iluminancias medias entre ambas situaciones.

- *Mapa de uniformidades medias*: Muestra los sectores de estudio en una escala de colores según la uniformidad media a partir de las medidas en su interior.

Disponiendo de los valores de las medidas de iluminancia a lo largo del recorrido realizado también son útiles los gráficos de evolución de la iluminancia para poder observar comportamientos indicativos de deficiencias en las instalaciones.

- *Exportar datos*: Permitir exportar los datos a otros sistemas para posibilitar análisis o comparaciones no inicialmente previstos, mediante la integración de los datos en otras bases de datos u otros sistemas de información geográfica.
- *Toma de medidas y tratamiento de los datos como procesos independientes*: Separando recolección de datos por un lado, y procesado y análisis de la información por otro se pretende flexibilizar el sistema. Siendo procesos independientes se puede, por ejemplo, subcontratar el trabajo de calle, disponer de más de un vehículo tomando medidas y un centro donde se recopilan todos los datos, etc. Es decir, se separa lo que sería el trabajo sobre el terreno de lo que sería el trabajo de oficina.
- *Toma de medidas proceso lo más sencillo y automático posible*: De forma que las medidas se puedan realizar por un único operario por vehículo y que no requiera gran cualificación o largos tiempos de aprendizaje y adaptación, reduciendo así los costes de operación e implantación.

Otro requerimiento, asociado a la naturaleza de prototipo del sistema presentado, es la modularidad del sistema y estandarización de los diferentes componentes empleados, en vistas a futuras implementaciones de nuevas funcionalidades, de equipos más avanzados, así como la integración en nuevos sistemas.

## 4.2. Descripción general

A partir de estas recomendaciones se desarrolla e implementa el sistema, al cual se denomina *VIALLUM* (nombre que podría corresponder a las siglas de “*Vehicle for Illuminances Analysis and Lightning Level and Uniformity Mapping*”).

La solución implementada esencialmente se trata de un sistema que a partir de unos datos recogidos por sensores (iluminancia y posición) y unos datos introducidos por el usuario



(configuración del sistema y cartografía de la zona a estudiar) elabora formas de representación de la información más adecuadas y útiles para el usuario de los datos recogidos (mediante mapas e informes).

En el proceso total se distinguen claramente dos subprocesos, que serían la obtención de las medidas de iluminancia y el tratamiento de estos datos (análisis, gestión y representación). Para ello el sistema consta de dos módulos independientes, denominados *VIALLUM-Movil* y *VIALLUM-SIG*, los cuales se comunican entre si mediante archivos de medidas que contienen los datos obtenidos y que deberán ser tratados y mostrados, logrando de esta manera hacer independientes trabajos de campo y de oficina.

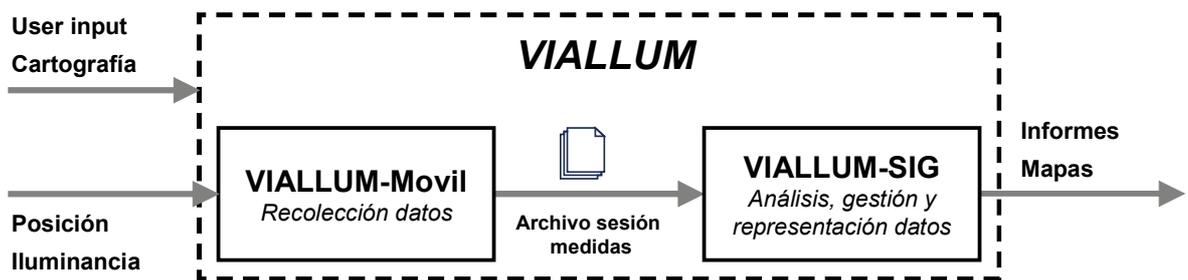


Fig. 4.2.1 : Esquema básico de VIALLUM.

Desde el punto de vista de los SIG's, el sistema desarrollado se trata de un SIG muy específico y limitado, tanto en temática abordada como en capacidades y formatos aceptados. Al tratarse de un proyecto enfocado a un tipo de datos muy concreto, como son los niveles de iluminación, orientado a un tipo de usuarios determinados (mantenedores de instalaciones de alumbrado), y al tratarse de un diseño preliminar se ha diseñado un SIG a medida y cerrado, desechando la utilización de software SIG de aplicación general, que ofrecen más potencia y funcionalidades de las necesarias (con los costes y consumo de recursos asociados) y una menor flexibilidad para adaptarse al tipo de aplicación concreta. Es decir, se trata de un SIG especializado en la tarea definida en el objetivo, con una forma de trabajar determinada y fija, que emplea unos formatos particulares de entrada y salida de datos, aunque se ha tenido en cuenta la posibilidad de exportar los datos a otros sistemas mediante el empleo de formatos conocidos y ampliamente soportados por otros SIG's de aplicación general.

El funcionamiento del sistema se basa en situar medidas puntuales de iluminancia sobre un mapa. Definidas unas zonas de estudio sobre el mapa, que serán tramos de vías urbanas, se calcularán los diferentes valores asociados, a partir de las medidas halladas en su interior, de forma que cada sector será representado unos valores asociados de iluminancia horizontal media y uniformidad media medidos. La metodología de trabajo más ajustada, al asignar valores discretos a elementos concretos como sectores de calle, es mediante un



SIG vectorial, empleando puntos para las medidas de iluminancia puntuales y polígonos cerrados para los sectores de vías. El tipo de análisis empleado en el SIG se basa en una simple variante del análisis por proximidad, la iluminancia media horizontal y la uniformidad media de un sector se calcularán a partir de las iluminancias medias situadas en el interior de dicho sector (de ahí que las zonas de estudio deban ser polígonos cerrados).

### 4.3. Módulo VIALLUM-Movil

El módulo VIALLUM-Movil comprende esencialmente la tarea de captura y digitalización de los datos de iluminancia. El funcionamiento se basa en la captura de medidas puntuales de valores de iluminancia y de la posición geográfica, así como otros valores como fecha y hora donde se midieron, generando finalmente un archivo informático con las medidas realizadas a lo largo de la sesión, archivo que posteriormente será procesado por el otro módulo, VIALLUM-SIG, para representar los datos obtenidos.

Siendo el objetivo el facilitar la adquisición de valores de iluminancia de amplias zonas el módulo VIALLUM-Movil se integra alrededor de un vehículo, de forma que se van realizando medidas a intervalos regulares de tiempo mientras el vehículo se encuentra en movimiento. Para simplificar el proceso, reduciendo el personal y su cualificación necesarias, así como aumentar la seguridad, se ha diseñado el módulo de manera que la captura de las medidas sea un proceso autónomo, sin que requiera más intervención del operario, desde el inicio hasta el fin de la sesión de captura de medidas, que la de circular con el vehículo por la zona a estudiar.

En la figura 4.3.1 se puede observar la estructura básica de VIALLUM-Movil. En ella se pueden distinguir los diferentes componentes de un SIG:

- *Hardware:*
  - *Ordenador:* Necesario para ejecutar el software y proporcionarle la información generada por los sensores.
  - *Un sensor de posición:* proporciona coordenadas de posición del vehículo a intervalos regulares, así como otros datos que pueden ser útiles, como la precisión de la medida.
  - *Un sensor de iluminancia:* proporciona valores iluminancia horizontal a intervalos regulares de tiempo.
  - *Elementos auxiliares:* Elementos necesarios para el correcto funcionamiento de los elementos principales, como pueden ser cables de datos, conversores, alimentadores y soportes.



- *Vehículo*: Constituye la plataforma sobre la que va montado el resto del sistema.
- *Software*: Constituye el elemento encargado de recoger la información, escoger la información útil y darle la forma adecuada para su posterior tratamiento, todo ello informando al usuario, requiriendo su intervención si es necesario y dándole el control del sistema.
- *Datos*: El sistema esencialmente genera los datos, agrupándolos para crear un archivo informático con todas las medidas tomadas durante la sesión. Opcionalmente, el sistema diseñado puede aceptar datos cartográficos para facilitar la orientación y visualización de las medidas en tiempo real para facilitar la labor al operario, pero que no afecta a los datos generados.
- *Personal y procedimientos*: Es necesaria también la intervención humana (input usuario), no sólo para iniciar y finalizar el proceso o para conducir el vehículo por las zonas a estudiar, sino para establecer los criterios y metodologías necesarias para garantizar la validez de los datos obtenidos, mediante configuraciones de hardware y software, así como asignando velocidades adecuadas y recorridos necesarios.

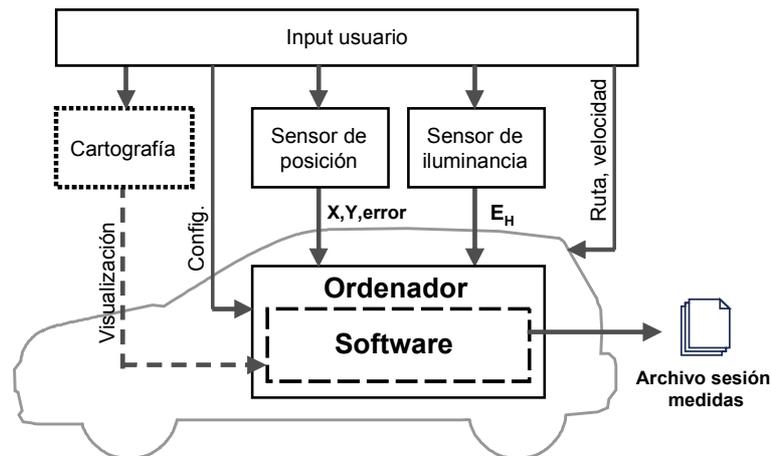


Fig. 4.3.1 : Estructura básica de VIALUM-Movil.

A continuación se procederá a describir la implementación técnica explicando las bases de funcionamiento, selección e integración en el sistema de los diversos elementos de hardware y de software. En este último también se explicarán más detalles sobre las características de los datos implicados, mientras que los factores relativos a personal y procedimientos se citarán en el apartado 5.3.



### 4.3.1. Hardware

#### Vehículo

Las características del vehículo necesario para esta aplicación son:

- Capacidad de circular a velocidades suficientes como para no entorpecer el tráfico urbano.
- Disponibilidad de espacio suficiente y la estructura necesaria para albergar los equipos.

Con estas especificaciones, el tipo de vehículo más sencillo y económico, así como el más común, es el de un vehículo de turismo o un vehículo industrial pequeño. El tamaño no es sólo por cuestiones económicas, cuanto más alto sea el vehículo más diferencia habrá entre las medidas a nivel del techo del vehículo (donde se posicionará el sensor) y a nivel del suelo. El vehículo no requiere modificaciones para adaptar su uso al sistema, por lo que no se necesitan nuevos trámites de homologación del vehículo y permite el uso de cualquier turismo en el proceso (durante las pruebas se emplearon vehículos como *SEAT Ibiza*, *Volkswagen Polo* o *Renault Clio*), dando lugar además a que se puedan utilizar los mismos vehículos en las medidas que los empleados para realizar pequeñas labores de mantenimiento del alumbrado, como pueden ser *Renault Kangoo*, *Opel Combo* y similares.

#### Ordenador

El ordenador empleado por VIALUM-Movil ha de cumplir los siguientes requisitos:

- Tener un tamaño y consumo reducidos para integrarse correctamente en el vehículo.
- Soportar una plataforma económica, común y fácil de usar sobre la que desarrollar el software.

Siguiendo estas pautas el tipo de ordenador que más se ajusta son los denominados PC compatibles (con procesadores x86), los ordenadores de uso más extendido, sobretodo a nivel usuario. Para este tipo de ordenador existen soluciones denominadas portátiles o "laptop" que ofrecen autonomías aceptables y tamaños compactos integrando la pantalla. Debido a que el presente proyecto se trata de un prototipo funcional se han desestimado otras plataformas, de carácter más orientado a movilidad o uso industrial, como son la arquitectura de procesadores ARM o soluciones más robustas específicas para integración en vehículos. Estas plataformas ofrecen un hardware más adecuado a la aplicación en cuanto a tamaño, consumos y robustez, pero no resultan tan potentes ni tan asequibles, no



presentan la facilidad de uso y de desarrollo de software de los ordenadores convencionales y no es sencilla la reutilización del hardware.

En cuanto a las especificaciones mínimas son:

- Procesador familia x86 a 1000 MHz
- 256 MB RAM
- 50 MB de espacio en disco duro
- 2 puertos USB 1.1/2.0, o bien 2 puertos serie, o puerto serie (DB9) +USB.
- Pantalla con una resolución igual o mayor que 1024 x 768.

La conectividad con los sensores se hará mediante puertos serie. Pese a ser un protocolo relativamente viejo y lento sigue siendo muy empleado en la comunicación de dispositivos informáticos e industriales. Además, su uso es simple y bien documentado mientras que sus prestaciones son suficientes para la aplicación. Los ordenadores portátiles actualmente no suelen traer los dos puertos necesarios para conectar los dos sensores, por lo que puede ser necesarios conversores de puerto USB a serie, siendo el uso de los USB muy extendido, siendo extraño el caso de un ordenador portátil nuevo con menos de dos de ellos.



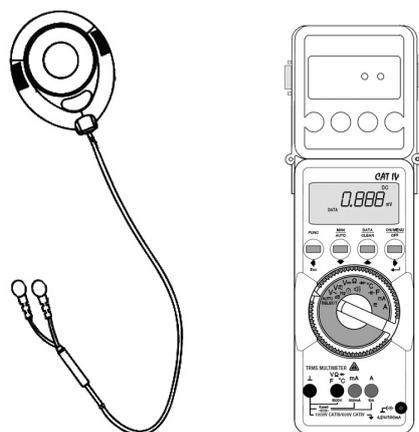
[Fig. 4.3.1.1](#) : A la izquierda un adaptador USB a serie db9. A la derecha un portátil integrado en el vehículo mediante un soporte contenedor.

La integración en el vehículo se hace mediante un soporte como el de la figura 4.3.1.1 que a la vez sirve de contenedor y soporte de los otros equipos. Dependiendo de la autonomía del portátil y de la duración de las medidas se puede requerir alimentación adicional del ordenador, pudiéndose hacer mediante transformadores de 12 a 230 voltios empleando la toma de 12V que suelen disponer los coches en el habitáculo.



## Sensor de iluminancia

Además de las características deseadas del luxómetro citadas en el apartado 2.3.3 en cuanto a calidad de medición, se requiere que el luxómetro disponga de salida de datos para que los valores de iluminancia puedan ser leídos por el ordenador. Dada las inferiores prestaciones en cuanto a medidas y salida de los datos se han desestimado los luxómetros con salida de datos integrada encontrados en el mercado a favor a una solución formada por una célula luxométrica (salida analógica) y un multímetro con salida a puerto serie, separando así medidas y transmisión de los datos. Las especificaciones de los equipos seleccionados se pueden encontrar en el anexo B. La célula Chauvin-Arnoux C.A. 808 proporciona errores de medición y coste aceptables, a la vez que proporciona el valor de iluminancia medido a través de una salida analógica en forma de diferencia de potencial (mV). Dicha diferencia de potencial es medida por el multímetro GMC MetraHit 29S que mediante el accesorio BD232 manda a través de un puerto serie el diferencial medido para que el software, a partir de la conversión indicada por el fabricante de la célula calcule el valor de iluminancia correspondiente. La salida del multímetro es ampliamente configurable, tanto en propiedades del puerto como en frecuencias de actualización de las medidas. Las frecuencias empleadas en el proyecto, en las que el sistema es funcional son cada 1, 0.5 y 0.2 segundos; intervalos mayores supone degradación en la resolución de las medidas e intervalos menores puede poner en un compromiso en la capacidad del software de procesar tal volumen de medidas. La selección de una frecuencia u otra se contemplará en el apartado 5.3 de metodología.



**Fig. 4.3.1.1** : A la izquierda la célula luxométrica C.A. 808 y a la derecha el multímetro GMC MetraHit 29S con el módulo BD232.



La alimentación de los componentes se hace a través de 2 pilas AA que proporciona un tiempo de funcionamiento de 100 horas, aunque también puede hacerse mediante un alimentador.

La integración en el vehículo se hace por separado. El multímetro se sitúa en el interior del vehículo junto al ordenador en el soporte contenedor conectado por un cable serie db9 macho hembra transparente (sin par cruzado). La célula se fija en posición horizontal sobre el techo del vehículo, sobre una barra porta equipajes a través de la rosca kodak (para trípodes de fotografía) que equipa, o bien directamente sobre el techo mediante una lámina adhesiva magnética. Es necesario vigilar que ningún elemento del vehículo aporte sombras o luz sobre la célula, por lo que deberá estar lo suficientemente alta y se deberán apantallar elementos como balizas giratorias si el vehículo empleado las requiere.

### **Sensor de posición**

Existen dos tipos de técnicas de posicionamiento basándose en el origen de los datos. Si el posicionamiento se basa en datos internos se denomina posicionamiento relativo y si se basa en datos externos se denomina posicionamiento absoluto. El posicionamiento relativo se basa en la medición de direcciones, velocidades y aceleraciones sobre elementos del propio móvil, de forma que la posición se establece a partir del recorrido realizado desde un punto de origen conocido, de ahí que la posición sea relativa a la posición inicial. Dentro de este tipo de posicionamiento se incluyen sistemas odométricos (en un vehículo basados en la orientación determinada por el giro volante y la aceleración, velocidad y distancia medidas en las ruedas) y sistemas inerciales (basados en giróscopos, brújulas, acelerómetros e inclinómetros). El funcionamiento del sistema descrito en el prefacio, el Lux Data Logger lx-1000 basa su posicionamiento en medidas relativas: el posicionamiento inicial se realiza mediante anotaciones orales y el posicionamiento posterior se calcula a partir de la distancia recorrida por el vehículo mediante un odómetro, considerando además siempre la realización de tramos rectos. El deslizamiento de las ruedas, desalineaciones, variación de las dimensiones, interferencias magnéticas, etc. puede hacer que la distancia, la velocidad o la orientación no sean siempre correctas, y una pequeña variación de estos valores (por ejemplo en la dirección) puede causar grandes errores, que no sólo afectan en el momento que se producen sino que afectan a todas las medidas posteriores al basarse el posicionamiento en el cálculo a partir de posiciones anteriores y mediante velocidades y orientaciones. Se puede decir que los sistemas de posicionamiento relativo son efectivos en distancias y en tiempos cortos, pero que a la larga el error de posición es grande. En el posicionamiento del sistema lx-1000 además está limitado a recorridos rectos y posicionamientos iniciales mediante anotaciones por lo que el tratamiento de esa información requiere de interpretar las anotaciones asignándoles posición y orientación



iniciales para poder situarlos sobre un mapa, con el trabajo que ello conlleva y la dificultad de automatizar el proceso tratamiento de grandes volúmenes de datos.

El segundo tipo de posicionamiento es el absoluto. Se basa en la medición de la posición a partir de la interacción con elementos externos, fijos o de posición y movimiento conocido. Conociendo la posición de los elementos externos de referencia y midiendo la posición relativa respecto a ellos el sistema calcula la posición absoluta, y dado que la posición de ellos es siempre conocida no existe error acumulativo, puesto que cada medida parte de unos datos de posición “correctos” de referencia. De esta manera la precisión es independiente del tiempo y distancia recorrida. Entre este tipo de sistema de posicionamiento se encuentran los que emplean ultrasonidos para medir distancias con obstáculos, cámaras, láser, radiobalizas, etiquetas de radiofrecuencia activas o pasivas (RFID), o satélites. Pese a ser posicionamientos absolutos, ultrasonidos, cámaras y láser no conocen la posición absoluta del elemento que utilizan de referencia. En el caso de radiobalizas, RFID o satélites la propia referencia puede emitir su posición absoluta, de manera que el posicionamiento del móvil es total, pudiéndose situar directamente sobre un mapa. El problema de estos últimos es que requieren la instalación de una serie de referencias, de forma que el sistema pueda “ver” en cualquier momento los elementos necesarios para su posicionamiento. El caso de RFID queda limitado por el alcance de las etiquetas, dificultando su uso en áreas muy extensas, como en exteriores. El caso de las radiobalizas las distancias cubiertas son relativamente extensas, pero no lo es tanto su precisión, y aun así necesitan situar infraestructuras sobre el área donde posicionar.

La utilización de constelaciones de satélites en el geoposicionamiento ha supuesto una autentica revolución. Una red de 24 satélites puede dar cobertura de posicionamiento absoluto y global en tres dimensiones al aire libre a todo el mundo, a un número infinito de receptores de señal, 24 horas al día 365 días al año y con una precisión aceptable para gran número de aplicaciones y ampliable mediante el uso de sistemas auxiliares con el único coste del receptor. En la actualidad existen dos redes, NAVSTAR GPS (NAVigation System with Time And Ranking Global Positioning System, conocida generalmente como GPS simplemente) de origen norteamericano y GLONASS de origen soviético. Existe un tercer sistema en proyecto, el denominado “Galileo” de origen europeo. El más conocido y empleado es el sistema GPS.

El funcionamiento del sistema GPS se basa en una red de 24 satélites equipados con relojes atómicos que emiten continuamente la señal horaria del reloj, la posición y la órbita del satélite cubriendo la totalidad de la superficie terrestre. El receptor determina su posición conociendo la posición y la distancia de al menos 4 satélites (a través del retardo de la señal gracias a la extrema precisión de los relojes atómicos), empleando 3 satélites para determinar la posición mediante la intersección de las esferas definidas por la



distancia del satélite y un cuarto para sincronizar las horas emitidas por los otros tres satélites y reducir el tamaño de la intersección disminuyendo el error. Sin aplicar correcciones y con una visibilidad de 8 satélites del receptor la precisión del sistema es de 6 a 15 metros. Los principales motivos de error en el posicionamiento mediante GPS son:

- Efecto de la ionosfera y troposfera (retraso de la señal, refracción, debilitamiento de la señal por capas de aire ionizado por efecto del sol).
- Efecto del entorno del receptor (perdidas de cobertura por falta de visibilidad, rebote de la señal en edificios y montañas cercanos).
- Número de satélites visible y geometría de sus órbitas.
- Errores de reloj.

No es por lo tanto el GPS un sistema infalible, depende de la visibilidad de los satélites y en algunas circunstancias, como debajo de un denso follaje, en calles estrechas con edificios altos, túneles o superficies cubiertas el sistema puede no observar los suficientes satélites o hacerlo con señal muy degradada haciendo que no se pueda determinar la posición.

Una ayuda en estos casos, y una mejora general en la precisión son los sistemas DGPS (GPS diferencial). Estos sistemas, a partir de mediciones con receptores GPS estáticos y con posición conocida, generan correcciones proporcionan una exactitud que puede llevar a precisiones submétricas según el tipo de correcciones. Las correcciones pueden ser aplicadas en tiempo real transmitiéndolas al receptor o pueden ser incorporadas en los datos una vez capturados (post-procesado). Los métodos de transmisión de las correcciones en tiempo real son a través de satélites, tales como WAAS (americano), EGNOS (europeo), MSAS (japonés), OMNISTAR (de pago, más preciso), a través de receptores de radiobalizas, señales digitales RDS a través de la radio (sistema RASANT), o mediante Internet con GPRS o UMTS (telefonía móvil).

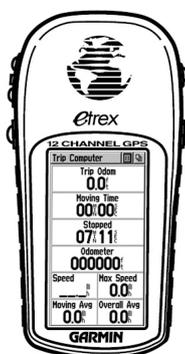
De todas las tecnologías de posicionamiento citadas se empleara únicamente el sistema GPS, posibilitando el uso de señales diferenciales EGNOS cuando éstas estén disponibles, ya que el receptor empleado puede utilizarlas. La reducción drástica de los precios de los equipos en los últimos tiempos debido a su popularización, una precisión nominal aceptable, su posicionamiento absoluto y libre de acumulación de errores, así como la estandarización de la salida de datos hacia dispositivos como ordenadores hace que el GPS sea la tecnología elegida para el presente proyecto. Debido al alcance y al presupuesto del proyecto queda fuera la implementación de otras tecnologías de posicionamiento a modo de apoyo. Sensores de posicionamiento relativo como sistemas inerciales u odométricos pueden proporcionar mayor precisión al sistema GPS o incluso sustituirlo momentáneamente en periodos breves en que este no pueda posicionar.



En el mercado existe una gran variedad de receptores de señal de GPS, siendo sus principales diferencias en los siguientes aspectos:

- Arquitectura del hardware: Como localizan y siguen los satélites, número de satélites que puede controlar simultáneamente, etc.
- Modo de operación.
- Aplicación para la que han sido diseñados.
- Técnica de procesado aplicada a las señales.

Por razones de costes, tamaño y flexibilidad se ha escogido un receptor GPS de propósito general. El modelo seleccionado ha sido un Garmin eTrex Vista (especificaciones en el anexo B.2).



[Fig. 4.3.1.1](#) : Receptor GPS Garmin eTrex Vista.

A destacar de él:

- *Gran número de posibilidades de configuración de la salida de los datos*: capacidad de emitir datos en diversos formatos, entre ellos el formato NMEA, un estándar de facto en la comunicación de receptores GPS con otros equipos. El receptor emite la posición en formato NMEA cada dos segundos. Otro parámetro configurable es el datum de salida de las coordenadas, hecho que evita realizar conversiones de datum por parte del software.
- *Conectividad mediante puerto serie*: Dispone de salida de datos mediante puerto serie configurable.
- *La posibilidad de introducir correcciones mediante dispositivos externos*: En vista a futuras implementaciones del sistema que emplee correcciones diferenciales.



- *Brújula electrónica integrada:* El dispositivo extrae en formato NMEA la orientación del receptor a partir de una brújula interna, dato que puede ser útil en futuras implementaciones en las que se empleen sensores de apoyo de posicionamiento relativo como odómetro o giróscopos.
- *Correcciones de satélites diferenciales WAAS-EGNOS integradas:* Para aprovechar las correcciones satelitales cuando el despliegue del sistema EGNOS este completado.
- *Protección del equipo IPX7:* Protege el equipo de factores externos, posibilitando su montaje exterior si es necesario. La IPX7 garantiza la estanqueidad del equipo sumergido a un metro durante 30 minutos.

La integración en el vehículo se hace mediante un soporte específico que se fija mediante ventosa en el parabrisas del vehículo. La alimentación del dispositivo se puede hacer mediante baterías o bien alimentándolo a través de la toma de corriente de 12V del interior del coche. Para conectar el receptor con el ordenador se requiere un cable de datos adecuado, que puede integrar o no la alimentación mediante la toma de corriente del vehículo.

Es necesario tener en consideración un aspecto más en cuanto a la instalación del receptor de GPS en el interior de un vehículo. Algunos vehículos nuevos disponen de un tipo de parabrisas denominado “antitérmico”, el cual lleva una capa de partículas metálicas con el fin de impedir la entrada de gran parte del calor al interior del coche. Dicha capa puede afectar notablemente a la calidad de recepción de señal de GPS. En estos casos puede ser necesario el empleo de una antena re-radiante, un dispositivo que dispone de dos antenas, una que se coloca en el exterior y otra en el interior, próxima al GPS, de manera que actúe de bypass del parabrisas, introduciendo la señal externa en el interior y asegurando la correcta recepción de la señal.

#### **4.3.2. Software**

El software de VIALUM-Movil se encarga de recoger y dar el formato adecuado a los datos emitidos a intervalos regulares por los sensores, generando al final un fichero con todos los datos dispuestos para se procesados por el software de VIALUM-SIG. El programa no procesa los datos obtenidos, sólo decodifica los valores transmitidos, desecha los datos no útiles y realiza algunas conversiones. La estructura y la interfaz de usuario han sido diseñado para funcionar de manera lo más autónoma y sencilla posible para simplificar el proceso de toma de medidas, aunque requiere establecer una metodología de trabajo y configurar el sistema la primera vez, tareas que no son tan sencillas y autónomas, pero que una vez realizadas sirven para todas las sesiones de medidas.



La estructura básica de funcionamiento secuencial de todo el programa, desde que se ejecuta hasta que finaliza la ejecución del mismo se puede resumir en la figura 4.3.2.1. En ella se muestra las diferentes etapas y procesos realizados, coloreados de rojo pálido aquellos que requieren intervención del usuario para introducir datos o iniciar procesos y de color verde aquellos que se realizan automáticamente.

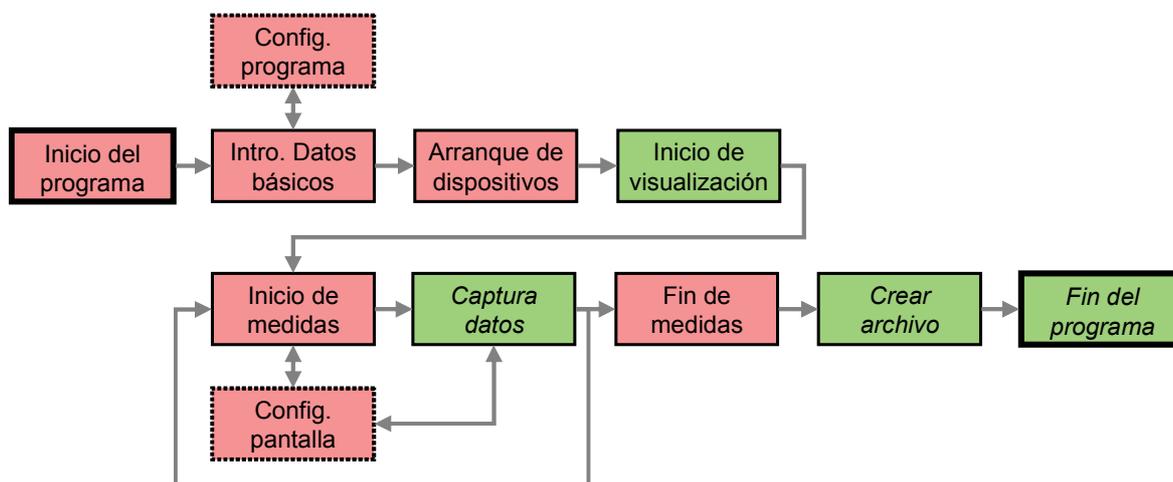


Fig. 4.3.2.1 : Estructura básica de funcionamiento secuencial del programa VIALUM-Movil.

La primera pantalla al ejecutar el programa pregunta por el nombre del archivo de cartografía de entrada, el del archivo de datos de salida, así como comentarios para proporcionar otra información útil o descriptiva de la toma de medidas que se va a realizar. El programa representa en pantalla los puntos donde realiza las medidas, pudiéndose observar el recorrido realizado. Pese a que el sistema puede funcionar sin cartografía, el programa puede mostrar por pantalla junto a las medidas la cartografía de la zona, con zonas marcadas a modo de guía para que el usuario sepa las zonas que debe recorrer. Las especificaciones del archivo de cartografía que puede utilizar se pueden encontrar en el anexo C.1.



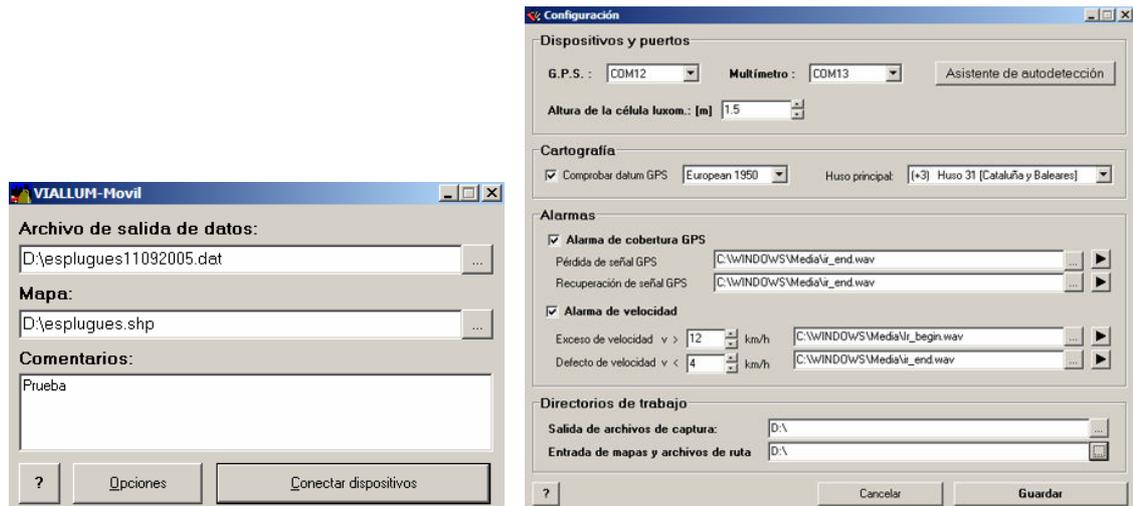


Fig. 4.3.2.2 : Pantallas de inicio y configuración de VIALLUM-Movil.

En la misma pantalla de inicio se puede acceder a la ventana de configuración del sistema. En ella se pueden indicar manualmente los puertos serie empleados por cada sensor o utilizar un asistente de autodetección. También se indica la altura de la célula, el valor acompaña a los datos medidos, de manera que si en las medidas se emplean varios vehículos de diferentes alturas se puede conocer la altura a la que se midieron para no inducir a errores en comparaciones. También se hace en vista a futuras implementaciones que a partir de datos de las instalaciones y de la altura de las medidas puedan calcular el valor equivalente a la altura del suelo. Se puede también indicar si se desea verificar que la configuración de datum del GPS sea la adecuada, así como la zona donde se realizan las medidas para mostrar correctamente situadas las medidas por pantalla (no afecta a las medidas del archivo final). Así mismo también se pueden configurar alarmas sonoras de cobertura de GPS y de velocidades máximas y mínimas que pueden ser útiles a la hora de realizar medidas para de garantizar la uniformidad de las medidas realizadas. Finalmente se puede configurar los directorios por defecto de lectura y creación de mapas y archivos de salida.

Una vez introducidos los datos necesarios y configurado el software (el sistema memoriza la configuración, por lo que no es requerido siempre configurarlo), se pulsa el botón *Conectar dispositivos*. En ese momento el programa empieza a leer datos de los dispositivos (si están encendidos y correctamente configurados), apareciendo la pantalla principal del programa mostrando los datos recibidos, como la posición sobre el mapa, velocidad, precisión del GPS, e iluminancia (Inicio de visualización).



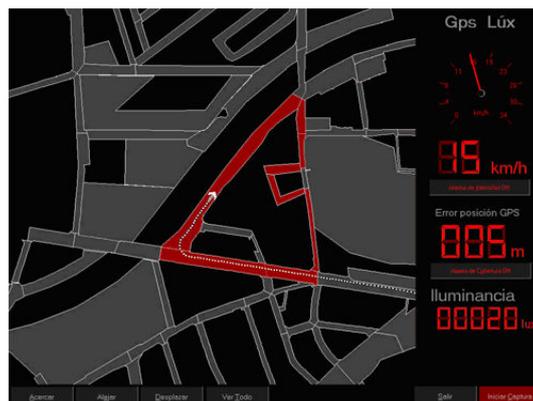


Fig. 4.3.2.3: Pantalla principal de VIALUM-Movil.

En la parte inferior aparecen los controles de configuración del mapa, mediante los cuales se puede ajustar la escala y posición de visualización del mapa, la cual se puede modificar mientras se capturan datos. Si el mapa ha sido exportado del software VIALUM-SIG con sectores seleccionados estos se visualizarán de color rojo indicando las zonas que se deben estudiar.

Una vez verificado el correcto funcionamiento de los sensores se procede a iniciar el almacenamiento de las medidas realizadas mientras se circula por la zona de estudio, mediante el botón *Iniciar captura* (inicio de medidas). Desde este momento hasta que el operario pulse el botón *Salir* o *Detener captura* las medidas realizadas serán almacenadas, pudiéndose continuar el almacenamiento pulsando *Continuar captura* si no se salió del programa. Una vez finalizadas las medidas, al pulsar *Salir*, el programa genera el fichero con todas las medidas capturas con extensión .dat y el formato descrito en el anexo C.3, para posteriormente finalizar su ejecución.

El flujo de datos y el tratamiento de éstos se muestran en el esquema de la figura 4.3.2.4:



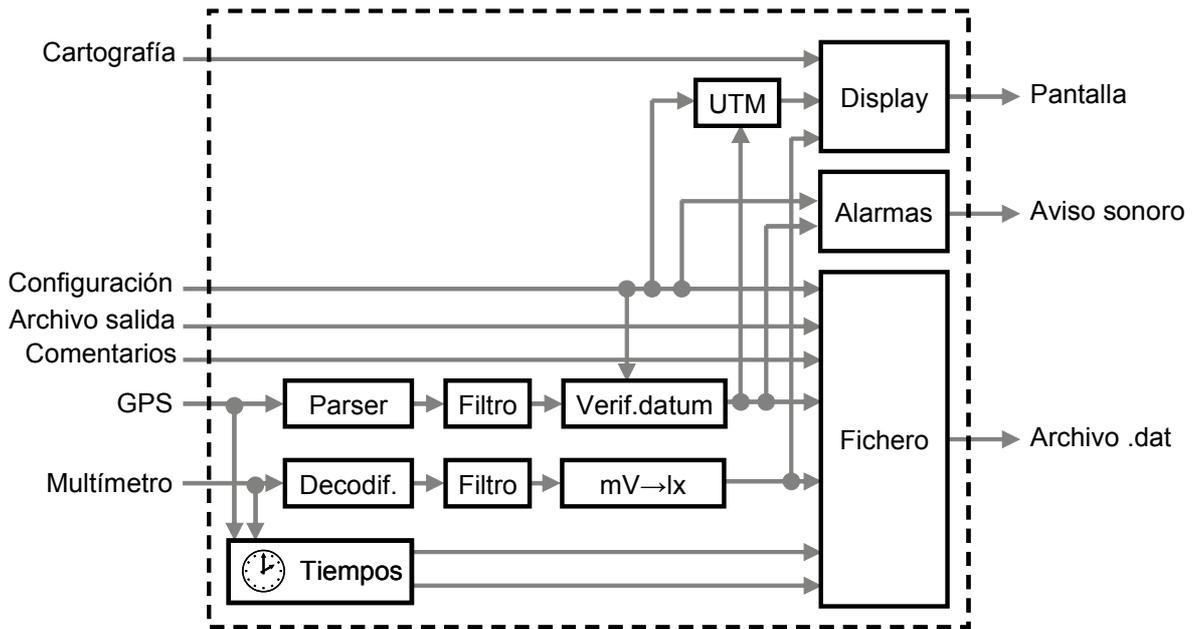


Fig. 4.3.2.4: Esquema del funcionamiento interno de la captura de datos.

La única función de la cartografía es la de ser visualizada para proporcionar más información visual al usuario de donde está y de lo que debe hacer, por lo que pasa sin ser tratada directamente a pantalla, en el caso de que se empleé. Los otros datos introducidos en la ventana de entrada del programa, nombre y directorio del archivo de salida y los comentarios, se aplican al final, directamente sobre la creación del archivo de salida de los datos (.dat).

Los datos del GPS vienen en formato de texto simple mediante instrucciones NMEA. Éstas son parseadas (se buscan los valores asociados a la instrucción), desechándose los valores no útiles para la aplicación. Los datos extraídos y enviados al archivo de salida son:

- la posición (latitud y longitud en grados decimales)
- velocidad (m/s)
- precisión en el plano horizontal (m)
- dirección (grados decimales respecto al norte magnético)
- datum empleado de los datos
- fecha y hora de la toma en el horario UTC (tiempo universal coordinado).

A continuación se verifica si el datum proporcionado por el GPS corresponde al indicado por la configuración (si está configurado para ser verificado). Después los datos se pasan directamente a escribirse en el archivo de medidas, enviándose también los datos para que



sean mostrados por pantalla y a las alarmas de velocidad y de cobertura para que si no se cumplen los requisitos se emitan avisos sonoros. La posición no puede mostrarse por pantalla tal como la emite el GPS, debe convertirse de coordenadas geográficas (latitud y longitud) a coordenadas UTM para que las medidas coincidan con la cartografía. Para la conversión se emplean las ecuaciones de Coticchia-Surace [12], descritas en el anexo A.1, y las cuales necesitan conocer la zona donde se hacen las medidas (indicada en la configuración).

Respecto a los valores proporcionados por el multímetro, es necesario decodificarlos, puesto que vienen en formato binario. Una vez decodificados se eliminan datos no útiles, dejando únicamente el valor de diferencia de potencial en milivoltios (verificando también las unidades para asegurar que el multímetro esta leyendo diferencias de potencial). El siguiente paso es convertir el valor medido en milivoltios en lux según las instrucciones del fabricante de la célula luxométrica ( $1\text{mV} \approx 100 \text{ lx}$  hasta  $2000 \text{ lx}$ , después mediante la tabla proporcionada). Una vez convertido el valor es escrito en el archivo de medidas y mostrado en pantalla.

Antes de ser tratados, justo en el momento en que el software recibe los datos de GPS y multímetro, el programa obtiene del reloj interno del ordenador la hora y fecha local y el tiempo en milisegundos que lleva ejecutándose el programa y lo escribe en el fichero de salida junto a los datos del GPS o del multímetro. De esta manera la hora y fecha en que se realizó la medida queda asociada a los datos medidos. El tiempo que lleva ejecutándose el software (mucho más preciso que la hora local y tomado antes de procesar los datos para evitar el retraso por el procesamiento) sirve para que el software VIALUM-SIG interpole temporalmente la posición de las medidas de iluminancia. En otras palabras, la frecuencia con que el ordenador recibe datos de GPS y de multímetro son distintas y por lo tanto no están sincronizados; para poder dar una posición a una medida de iluminancia se debe interpolar entre la medida de posición anterior y posterior en el tiempo, y el valor a través del cual se interpola es el tiempo de ejecución del programa, proporcionado en milisegundos, precisión más adecuada para ello.

Una vez finalizadas las medidas se salvan los datos medidos, incluido los tiempos en que fueron capturados, comentarios y altura a la que se realizaron en un archivo de medidas .dat con el nombre y en el directorio indicados al principio de la ejecución del programa.

#### **4.4. Módulo de tratamiento de datos VIALUM-SIG**

VIALUM-Movil ya contemplaba una parte del concepto de SIG y compartía estructura con ellos, pero es en VIALUM-SIG donde se completa la aplicación y el concepto de SIG en el sistema. Mientras que el módulo VIALUM-Movil era el encargado de recabar medidas, el



módulo VIALUM-SIG sirve para analizar, gestionar y representar los valores medidos por VIALUM-Movil.

La estructura empleada para lograrlo esta compuesta por los siguientes elementos:

- *Hardware*: Sin otra tarea más que la de procesar y visualizar los datos obtenidos, el único hardware requerido es el ordenador empleado por el software de VIALUM-SIG.
- *Software*: Se encarga de almacenar, procesar y visualizar los datos según el criterio del usuario.
- *Datos*: Empleando la estructura de organización de la información de los SIG's mediante capas, VIALUM-SIG emplea tres tipos de capas:
  - Capas de sectores: Son capas con los polígonos cerrados que representan los sectores de estudio. Cada polígono tiene asociados datos como el nombre de la calle, iluminancia, iluminancia recomendada, diferencia entre recomendada y medida, indicador de selección de sector, número de medidas, uniformidad media, diferencia entre dos últimas medidas, altura media de las luminarias, etc.
  - Capas de datos: Son capas de puntos que representan las medidas. Cada punto tiene asociada información sobre la iluminancia medida, fecha y hora de la medida y error del GPS. Son los datos derivados del archivo de sesión de medidas (.dat) generado por el programa VIALUM-Movil.
  - Capas de información adicional: Son capas que no intervienen en los cálculos, pero que pueden añadir más información visual en el mapa. Por ejemplo se podrían añadir capas con información de la localización de las luminarias, líneas de separación de carriles de las calzadas, nombres de las calles etc.

Las especificaciones de los tres tipos de capa se encuentran en el anexo C. En la figura 4.4.1 se pueden los diferentes tipos de capa en una captura de pantalla. Las líneas negras representan los polígonos cerrados en que se ha dividido el espacio urbano para su estudio (capa de sectores). Los puntos redondos de color azul oscuro representan las medidas realizadas mediante VIALUM-Movil (capa de medidas). Los puntos cuadrados de color azul claro son las posiciones de los puntos de luz existentes (capa de información adicional).



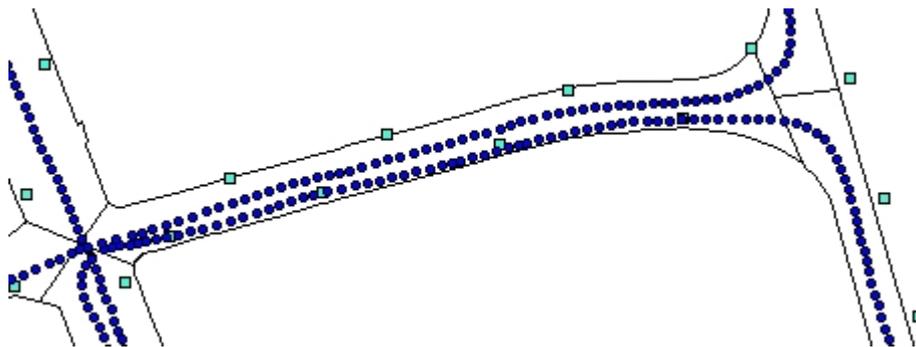


Fig. 4.4.1: Captura de pantalla con los diferentes tipos de capas.

Existe un cuarto tipo de información almacenada en un fichero con extensión .prl, actuando de índice de capas recogiendo atributos de estas, como visibilidad, comentarios o generalidades sobre la sesión de captura de medidas.

- *Personal y procedimientos:* Es necesario emplear un personal y una serie de prácticas a la hora de organizar, seleccionar, procesar y visualizar los datos, así como para interpretar, detectar patrones o deficiencias y extraer conclusiones útiles a partir de la visualización de los datos.

#### 4.4.1. Hardware

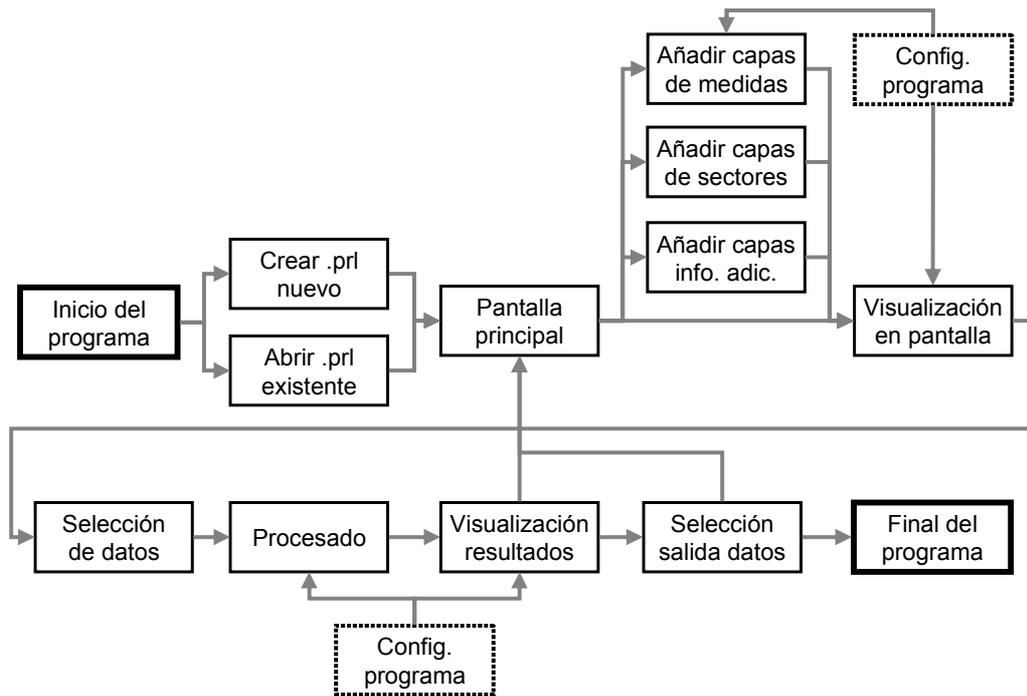
Dado que el elemento principal del módulo de tratamiento de datos es el software VIALUM-SIG, el único hardware implicado es el ordenador encargado de ejecutar el programa. Las especificaciones mínimas del equipo son las mismas que las necesarias para el programa VIALUM-Movil y descritas en el apartado 4.3.1, pero no requiere ser portátil puesto que no es necesario que este integrado en un vehículo, pudiéndose también, si así se desea, emplear el mismo ordenador para los dos.

#### 4.4.2. Software

El propósito principal del software de VIALUM-SIG consiste en, a partir de los datos medidos con VIALUM-Movil y de una cartografía con unos atributos asociados, crear representaciones que permitan valorar las prestaciones, el estado y la evolución del nivel de iluminación de las instalaciones situadas en los sectores definidos por la cartografía.

El funcionamiento del programa, desde el punto de vista del usuario, se puede resumir mediante el esquema-secuencia de la figura 4.4.2.1:





**Fig. 4.4.2.1** : Estructura básica de funcionamiento secuencial del programa VIALUM-SIG.

Después de iniciar la ejecución del programa el primer paso es el de abrir un archivo de proyecto .prl, bien existente o bien crear uno nuevo vacío. El programa se hace servir del archivo de proyecto para tratar los diferentes archivos correspondientes a las diferentes capas de forma centralizada y sencilla, funcionando a modo de tabla índice, almacenando información relativa a las capas, como su nombre, situación, visibilidad, comentarios, datos asociados a la sesión de medidas, etc. Junto al archivo de proyecto va asociada una carpeta en la que son copiadas las capas según se van añadiendo, situando todos los archivos de capas asociados al proyecto en el mismo lugar.

Una vez abierto un archivo .prl las capas asociadas a éste se muestran en la pantalla principal, representadas en forma de mapa y en listas de capas. Si el proyecto era nuevo no aparece nada en el mapa o en las listas, ya que por defecto los proyectos no llevan asociada ninguna capa. A continuación se añaden capas si se desea, ya sean de medidas (que requiere de valores de configuración), de sectores o de información adicional, visualizándose según se van introduciendo.



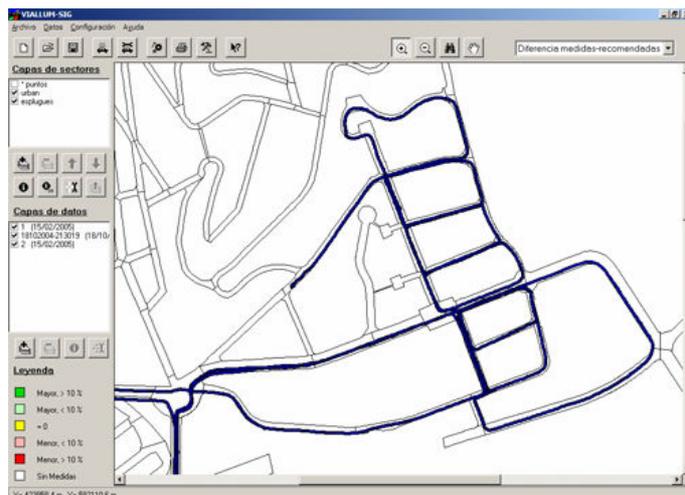


Fig. 4.4.2.2 : Pantalla principal de VIALUM-SIG, con varias capas cargadas.

Una vez cargados todos los datos necesarios en el programa se seleccionan los datos que se desean procesar y visualizar, permitiendo tener cargados en el programa todos los sectores y medidas asociados a una localidad, por ejemplo, y elegir en cada momento los datos a tratar. A continuación se procesan las capas de sectores y de medidas seleccionadas, calculando y asignando a cada sector valores de iluminancia horizontal media y uniformidad media, siempre teniendo en consideración los parámetros de configuración del procesado.

El paso siguiente es visualizar los resultados del procesado. Esto se puede hacer por pantalla o por otros medios. Por pantalla se pueden visualizar los datos a través de mapas, de gráficos de evolución de la iluminancia y lista de sectores.



Fig. 4.4.2.3 : Pantalla principal con mapa de iluminancias y gráfico de evolución de iluminancia.



También se pueden representar los datos a través de medios externos al sistema, como la impresión de mapas (de la misma manera que se visualizan por pantalla) o pasar los datos a otros medios para dar representaciones que el software VIALUM-SIG no puede. Esto se puede hacer exportando listados de datos de sectores o de detalle de un sector en formato .csv (formato que se puede abrir y manipular mediante programas como hojas de cálculo) o bien exportando las capas de sectores en formato *Shapefile* .shp (exportable a otros SIG's), el cual adjunta los datos asociados en forma de una tabla en formato dBase (exportable a sistemas de bases de datos).

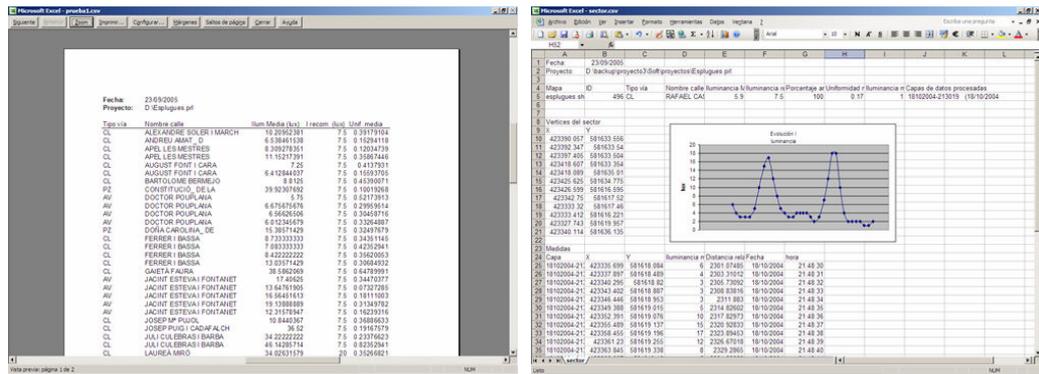


Fig. 4.4.2.4 : Listado de sectores e informe de detalle de sector mediante hoja de cálculo.

El programa no tiene un funcionamiento secuencial definido, permitiendo en cualquier momento añadir, quitar capas, volver a procesar, volviendo a las distintas fases del esquema de la figura 4.4.2.1. Para terminar la ejecución se accede a la opción adecuada, preguntando al sistema si se desea guardar las capas añadidas y los cambios realizados en el proyecto en curso.

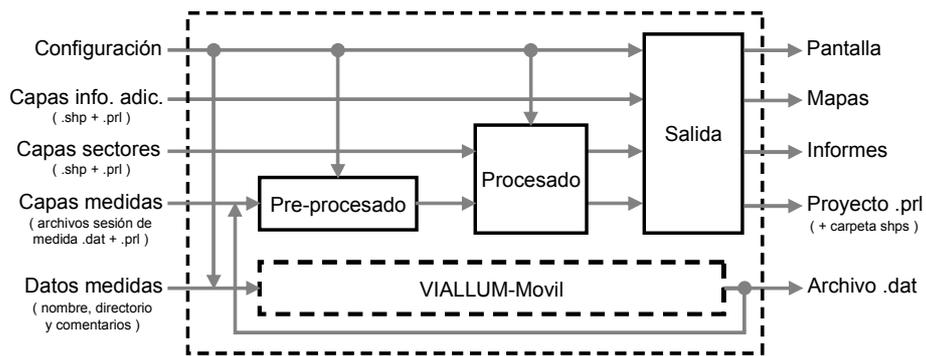


Fig. 4.4.2.5 : Funcionamiento interno básico del software VIALUM-SIG.

Respecto al funcionamiento interno del software VIALUM-SIG, éste se puede resumir mediante el esquema de la figura 4.4.2.5. Los diferentes tipos de capas entran dentro del funcionamiento del programa en diferentes etapas. Las primeras capas en ser manipuladas



son las capas de datos, correspondientes a las medidas. Éstas, antes de ser procesadas junto a las capas de sectores, requieren de un conjunto de operaciones a las que se les ha denominado pre-procesado, con el fin de adecuar el formato de los datos y corregir fallos. El pre-procesado se efectúa únicamente la primera vez que se introduce la capa en un proyecto. El funcionamiento interno se puede ver en el esquema de la figura 4.4.2.6:

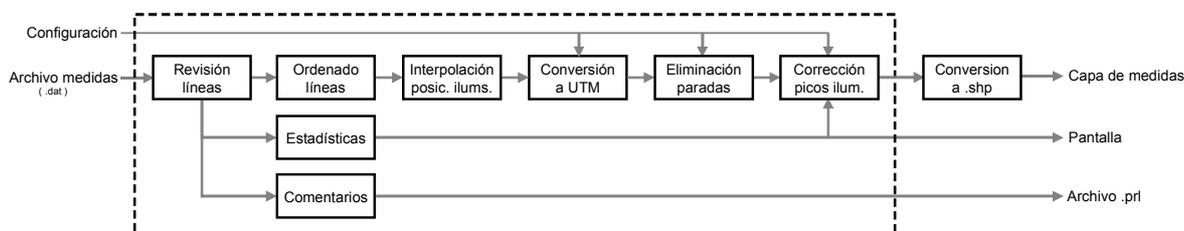


Fig. 4.4.2.6 : Funcionamiento interno del pre-procesado.

La primera tarea realizada en el pre-procesado es la revisión de la integridad de los datos suministrados por el archivo de sesión de medidas. En ella, además de verificar la estructura correcta de los datos, se extraen datos previos como los comentarios y se calculan valores estadísticos previos que se emplean en procesos posteriores o que se muestran al cargar la capa de medidas. Durante la verificación además se comprueba el orden temporal de las medidas, para posteriormente ordenar las medidas si el orden no es correcto, siendo éste necesario para el proceso de interpolación. La razón de que el orden no sea del todo correcto es que los datos obtenidos del GPS requieren más tiempo para ser manipulados que los obtenidos del multímetro, hecho que puede hacer que se escriban más tarde en el archivo pese a recibirse antes.

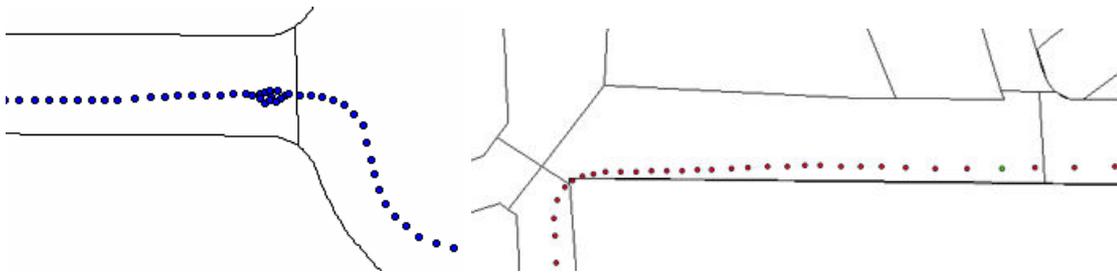
El paso siguiente es la interpolación de medidas. En esta etapa se procede a calcular la posición de las medidas de iluminancia a partir de la medida de posición anterior y posterior a ella utilizando los tiempos de ejecución del programa en los que se recibieron los datos correspondientes. Se aplica este proceso debido a que los datos del GPS y del multímetro se reciben a ritmos distintos y raramente sincronizados, por lo que, a priori, las medidas de posición no corresponden exactamente al mismo instante donde se hicieron medidas de posición (los tiempos de actualización de los datos del GPS es de 2 segundos, mientras que el multímetro se puede ajustar en valores 1, 0.5 y 0.2 segundos). El tipo de interpolación empleada ha sido lineal (entre dos medidas de posición se supone velocidad constante) para simplificar la implementación del software y considerando la velocidades relativamente bajas y uniformes del uso del sistema. Los detalles sobre los cálculos empleados en la interpolación se hallan en el anexo A.2.

A continuación se procede a convertir los valores de posición de coordenadas geométricas a coordenadas en el sistema UTM. El tratamiento de los datos en UTM es mucho más



sencillo que mediante latitudes y longitudes, ya que en coordenadas UTM no se emplean ángulos sino coordenadas cartesianas y las unidades empleadas son metros. El algoritmo de conversión empleado es el de las ecuaciones de Cotticchia-Surace [12]. Además de la conversión, aprovechando la utilización del uso de coordenadas con unidades en metros, se calcula la distancia recorrida entre las medidas, valor que se emplea posteriormente para la representación de gráficos de evolución de la iluminancia frente a la distancia recorrida.

En las dos siguientes etapas se procede a eliminar medidas que puedan perturbar el cálculo de iluminancias medias. La primera se basa en la eliminación de las medidas en función a un parámetro que define la interdistancia mínima entre dos medidas consecutivas y que cuyo algoritmo se define en el anexo A.3. El objetivo de la aplicación de este algoritmo es el de eliminar las medidas realizadas durante las paradas y durante zonas del recorrido realizadas a velocidades bajas. Dado que el sistema efectúa medidas a periodos regulares de tiempo de tiempo, éstas también se realizan durante las paradas que hace el vehículo, como en semáforos por ejemplo. El hecho de que se realicen estas medidas implica que se realizarán más medidas allá donde el vehículo se paró, teniendo más peso la zona de parada en el cálculo de la iluminancia media. Parecido es el comportamiento del sistema a velocidades bajas, a igualdad de tiempos de captura la interdistancia entre medidas es inferior donde las velocidades son más bajas, teniendo por lo tanto más peso en la media. Eliminando las medidas que no se hallen a una distancia mínima entre sí se ayuda a garantizar cierta uniformidad de medidas que permite una mayor representatividad de la media de lo que ocurre en el sector.

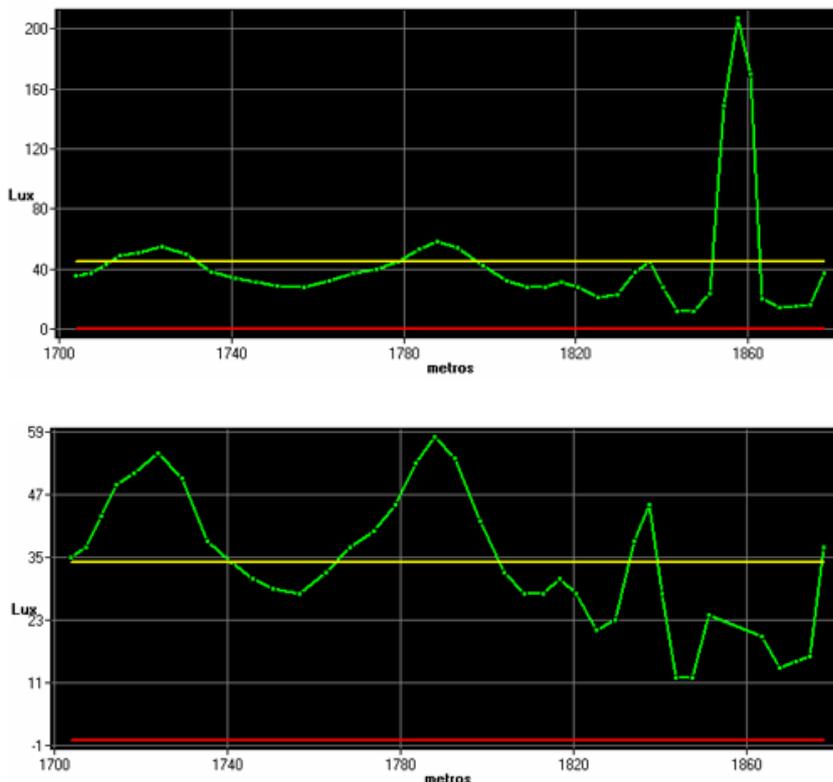


[Fig. 4.4.2.7](#) : Ejemplo de casos donde es necesaria eliminación de medidas por parada en un semáforo y por velocidades bajas.

En la segunda etapa de eliminación de medidas el criterio empleado se basa en la diferencia de iluminancias entre medidas consecutivas. En las pruebas se observó que en determinadas circunstancias aparecían picos de iluminancia (valores extremadamente altos no correspondientes con la realidad) que perturbaban notablemente el valor de iluminancia media calculada. Para corregir la influencia de estos valores extremos se implementó el algoritmo descrito en el anexo A.4. Basándose en un umbral calculado mediante el



producto variación media absoluta de iluminancia entre medidas consecutivas (calculada en la revisión de líneas) y un factor configurable, se eliminan las medidas cuya variación de iluminancia supere dicho umbral, eliminando el valor extremo. En la figura 4.4.2.8 se puede observar la eliminación de un pico de iluminancia, a partir de medidas realizadas en pruebas y empleando un factor de 20 (valor de referencia obtenido a partir las pruebas). En el primer gráfico se observa el pico sin eliminar, superando los 200 lx y un valor medio de 45 lx. Una vez eliminado el pico el valor medio baja hasta los 34 lx.



[Fig. 4.4.2.8](#) : Ejemplo de eliminación de pico.

Una vez realizados las conversiones y correcciones necesarias, los datos se convierten a formato *Shapefile*, empleado por el software para definir las diferentes capas de datos y para representarlos por pantalla. En dicho formato, el programa ya está en disposición de combinar las capas de medidas junto a las de sectores para procesarlas.

El funcionamiento del procesado es relativamente simple. Consiste en buscar para cada sector de estudio (polígono cerrado) de todas las capas de sectores seleccionadas, las medidas de iluminancia de las capas de medidas seleccionadas que se hallan en su interior, y a partir de ellas calcular los valores los valores de iluminancia horizontal media, uniformidad media (a partir de la iluminancia media mínima encontrada y la iluminancia horizontal), diferencia de la iluminancia horizontal media medida con el valor de referencia



del sector y diferencia con la iluminancia horizontal media del procesado anterior. Estos valores se asignan a cada polígono, introduciéndolo en las bases de datos asociadas a la capa. Mediante la configuración se puede establecer el número mínimo de medidas necesarias para realizar los cálculos con el fin de evitar asignar valores a sectores basándose en pocas medidas.

Una vez calculados los diferentes parámetros para cada polígono se procede a su representación, sea en pantalla o en otros medios. En el caso de mapas (impresos o por pantalla) el proceso consiste en asignar una escala de colores para representar el parámetro que se desee, de manera que cada sector de estudio aparece de un color determinado según el valor que se quiere representar, que con la ayuda de una leyenda se puede descifrar la magnitud del valor. En la figura 4.4.2.9 se puede observar un mapa de iluminancias medias medidas, en el que los sectores de color más rojizo tienen valores de iluminancia media comprendidos entre 0 y 12.5 lux.

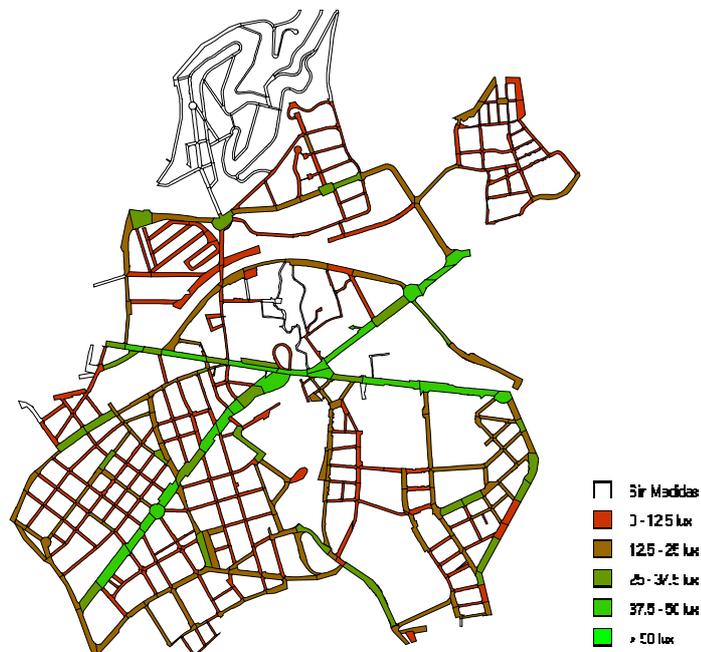


Fig. 4.4.2.9 : Ejemplo de mapa.

Los colores, rango de valores a medir, número de divisiones del rango se pueden configurar en el apartado correspondiente del programa.

En el caso de la representación mediante listados, ya sea por pantalla o bien para exportar a otras aplicaciones se basa en la conversión de los datos asociados a los sectores a formato representable por pantalla o bien exportable (formato .csv). En el caso de informes de detalle de sectores o en los gráficos de evolución de iluminancia, además de



representar los valores asociados a los sectores, se representan los valores asociados a las medidas.

En el esquema 4.4.2.5 se puede observar un bloque llamado VIALUM-Movil. El software VIALUM-SIG permite llamar, en el caso que esté instalado en el mismo ordenador, al software de captura de datos, permitiendo la integración inmediata de los datos medidos en el proyecto abierto. Esto no quiere decir que VIALUM-SIG también pueda hacer las medidas, sino que puede abrir y utilizar la aplicación VIALUM-Movil ahorrando algunos pasos al usuario y ofreciendo una aparente mayor integración de los componentes.

## 4.5. Desarrollo del software

La plataforma de sistema operativo escogida para el desarrollo y ejecución del software del sistema VIALUM es la de Microsoft Windows, en sus versiones 2000 y XP. La elección se debió a los siguientes motivos:

- Facilidad y extensión del uso.
- Presencia de drivers de elementos como los conversores de USB a serie.
- Gran número de herramientas de desarrollo, librerías de software y documentación.

Respecto al lenguaje de desarrollo se han empleado los lenguajes C y C++. Los motivos han sido:

- Es un lenguaje potente y flexible, útil a alto y bajo nivel.
- Existía una formación previa en programación en C.
- Se disponía de herramientas de desarrollo en C/C++ de proyectos anteriores.

Se ha utilizado C en la estructura central de los diferentes programas, así como en mayoría de código, reservándose el uso de C++ en fragmentos de código más susceptibles de ser cambiados en futuras implementaciones del sistema, como por ejemplo código encargado de leer los datos de los sensores, dado que características como la estructura de clases y el polimorfismo que proporciona el C++ permite más fácilmente la sustitución de modelo de sensores por ejemplo, ya que tal como está implementado el sistema es funcional únicamente con el hardware descrito anteriormente, estando sujeto el sistema a la disponibilidad de los equipos utilizados.

Con el mismo fin de crear una estructura modular del software, en vista a futuras implementaciones, se ha dividido el software en unidades más pequeñas e independientes. De esta manera el software de VIALUM-Movil se ha dividido en dos ejecutables, la aplicación principal y el programa de configuración, de forma que al cambiar de hardware



sólo cambie el programa de configuración para que se ajuste a las nuevas características y especificaciones de los equipos nuevos. De manera semejante se ha implementado la fase de pre-procesado del software VIALLUM-SIG, realizándose a través de una librería DLL (*Dynamic Link Library*) la cual es llamada por el software principal para realizar la tarea asignada. Este tipo de librerías pueden ser llamadas por otras aplicaciones, lo que permitiría, por ejemplo, el uso de las medidas directamente en otros SIG's.

Durante el desarrollo del sistema VIALLUM se han empleado diversas herramientas, librerías y aplicaciones. El uso de estas herramientas y la distribución del software generado mediante ellas, pueden estar sujetos a la aceptación de acuerdos de licencia de uso y distribución, de la misma manera que lo pueden estar los archivos necesarios para la ejecución del software de VIALLUM.

Los archivos distribuidos con el software de VIALLUM son:

<b>VIALLUM-Movil</b>	<b>VIALLUM-SIG</b>
<i>ViallumMovil.exe</i>	<i>ViallumSIG.exe</i>
<i>ViallumConfig.exe</i>	<i>Preproc.dll</i>
<i>Viallum.chm</i>	<i>Viallum.chm</i>
<i>MO22RT.exe</i>	<i>MO22RT.exe</i>
<i>Leeme.txt</i>	<i>Leeme.txt</i>

Durante la instalación del software de VIALLUM se instalan las librerías "runtime" de MapObjects 2.2 ("*MO22RT.exe*") de forma que se copian en el sistema los archivos detallados en el archivo "*MO22Runtime.pdf*" que se encuentra en la carpeta "*InfosMapObjects*" que se adjunta en el soporte informático del presente proyecto. Además se introducen entradas en el archivo de registro de Windows correspondientes a la configuración del software.

#### **4.5.1. Herramientas de desarrollo y condiciones de distribución**

El software del sistema VIALLUM ha sido desarrollado con el programa Borland C++ Builder 5.0 Professional. Los principales motivos por los que se decidió utilizar son:

- Facilidad y rapidez en el desarrollo de aplicaciones para entornos Windows.
- Existencia de gran número de librerías, tanto comerciales como freeware.
- Herramienta adquirida para la realización de otros proyectos, y por lo tanto ya amortizada en parte.



La distribución de aplicaciones desarrolladas con Borland C++ Builder 5.0 está sujeta a las condiciones especificadas en los documentos “*deploy.pdf*” y “*license.pdf*” situados en la carpeta “*Software\Infos\Borland*” del soporte informático del presente proyecto y que también se puede encontrar en la propia página web de [Borland](#).

Para la implementación de las metodologías SIG se han utilizado las librerías MapObjects 2.2 de ESRI, de carácter comercial. Estas librerías se integran en el entorno de desarrollo de C++ Builder, y proporcionan herramientas potentes para la manipulación y visualización de datos con componente geográfica, incluyendo el manejo y edición de datos en formato Shapefile, empleado por el sistema VIALLUM por ser sencillo de utilizar, completo y ser uno de los formatos más extendidos en sistemas de información geográfica. Se emplean dos versiones: una para el desarrollo y otra para la distribución (“runtime”). Las condiciones de uso y distribución de las librerías, así como de otros archivos necesarios se encuentran descritas en los archivos “*ESRIs spanish.pdf*” y “*readme.pdf*” de la carpeta “*Software\Infos\MapObjects*” que se adjunta en el soporte informático del presente proyecto.

Además de MapObjects, se han empleado las siguientes librerías:

- *AnalogMeter 2.1*: Para visualizar la velocidad mediante un velocímetro de aguja. De carácter freeware, no presenta condiciones de uso o de distribución del software. De Hannes Breuer ([hannes.breuer@talknet.de](mailto:hannes.breuer@talknet.de)). Más información en el archivo “*AnalogMeter.pdf*” en la carpeta “*Software\Infos\AnalogMeter*”. [VIALLUM-Movil].
- *ComPort 2.63*: Para la gestión de la configuración y entrada de datos a través de los puertos serie. De tipo freeware y sin condiciones de uso o de distribución del software. De Dejan Crnila ([dejancrn@yahoo.com](mailto:dejancrn@yahoo.com)). Más información en el archivo “*readme.pdf*” en la carpeta “*Software\Infos\ComPort*”. [VIALLUM-Movil].
- *LbButtons Suite 2.4.1*: Botones de colores configurables. Freeware con licencia GNU LGPL. De Leif Bruder ([mail@leif-bruder.de](mailto:mail@leif-bruder.de)). Más información en los archivos “*readme.pdf*” y “*copying.pdf*” (licencia GNU LGPL) en la carpeta “*Software\Infos\LbButtons Suite*”. [VIALLUM-Movil].
- *M7SegDisp 1.0*: Componente para representar por pantalla cifras en forma de displays de LED's de 7 segmentos. Freeware y sin condiciones de uso o de distribución del software. De Milan R. Zavisic ([milka@chuc.yfnet.org.yu](mailto:milka@chuc.yfnet.org.yu)). Más información en el archivo “*readme.pdf*” en la carpeta “*Software\Infos\M7SegDisp*”. [VIALLUM-Movil].
- *Sgraph 2.4*: Librería para la representación de datos y funciones en dos dimensiones, empleada en los gráficos de evolución de la iluminancia. Freeware y sin condiciones de uso o de distribución del software. De Sergei P. Pod'yachev



([pod0@mail.ru](mailto:pod0@mail.ru)). Más información en el archivo “*readme.pdf*” en la carpeta “*Software\Infos\SGRAPH*”. [VIALLUM-SIG].

Para la creación de los archivos de instalación se ha empleado el software InnoSetup 5.0, de tipo freeware, que ofrece muchas posibilidades de personalización mediante el uso de scripts. Los datos relativos al uso y distribución se encuentran en el archivo “*license.pdf*” en la carpeta “*Software\Infos\Innosetup*”.





## 5. Resultados

### 5.1. Pruebas

Con el fin de evaluar la viabilidad de uso del sistema y de verificar las diferentes etapas del desarrollo, tanto para comprobar el funcionamiento del módulo VIALUM-Movil como para disponer de datos para utilizar a medida que se implementara el software de VIALUM-SIG, se hicieron varias sesiones de medidas en varias noches en el municipio de Esplugues de Llobregat. Los resultados generales, en términos numéricos, de las pruebas son:

- Distancia total recorrida: 22 km.
- Duración total de las pruebas: 150 minutos.
- Número de medidas de iluminancia efectuadas: 10461 (en intervalos de 2, 1 y 0.5 segundos).
- Número de medidas de iluminancia válidas después de eliminar paradas y picos: 9297 (89% del total de medidas realizadas).
- Precisión media de la posición proporcionada por el GPS: 7,4 metros (valores comprendidos entre 5,5 y 9,2).
- Velocidad media durante las pruebas: 9,4 km/h (las velocidades máximas variaron entre 10 y 25 km/h según la sesión).
- Interdistancia media de las medidas de iluminancia: 2,3 metros. (variando en las diferentes sesiones entre 1,5 y 3,5).
- Número de medidas situadas fuera de su polígono: 947 (10% de las medidas válidas), el 85% de las cuales correspondían a desplazamientos simples (fáciles de reparar), el 5% a desplazamientos muy puntuales (una o dos medidas de la serie fuera del sector, sin apenas influencia) y el 10% restante a distribuciones caóticas de las medidas de posición (muy alejadas del sector o mostrando un recorrido poco parecido al real).

En otros términos, las pruebas a pesar de breves, son positivas aunque no ideales. El 90% de las medidas se consiguen situar automáticamente en su sector, y la mayoría de las medidas mal situadas muestran comportamientos fácilmente corregibles, pero que requieren atención por parte del usuario de VIALUM-SIG. Es por la existencia de las medidas fuera de su polígono detectadas en las pruebas por lo que se ha implementado herramientas para la corrección masiva de posiciones de puntos de medida. Al tratarse de



sectores urbanos la mayoría de ellos son tramos rectos, por lo que para desplazarlos la forma más sencilla y rápida es seleccionando los puntos mal situados y trazando una recta donde posteriormente son proyectados, de forma que con tres operaciones pueden moverse todo un conjunto de puntos alineados. Si bien es un método rápido pero poco preciso, el sistema no requiere situar los puntos en su posición exacta, sino solamente dentro del polígono para que puedan ser computados. El algoritmo empleado para posicionar los puntos mediante rectas de proyección está descrito en el anexo A.5.

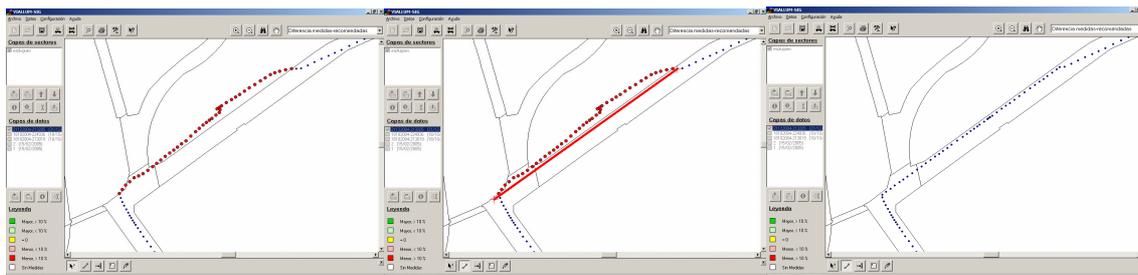


Fig. 5.1.1 : Corrección de posición de medidas.

En cuanto a la precisión media obtenida, ésta es proporcionada por el GPS, en función de la incertidumbre que tenga éste, pero no expresa el error real que puede estar cometiendo, mostrando el sistema generalmente un error inferior a la precisión mostrada en ese punto.

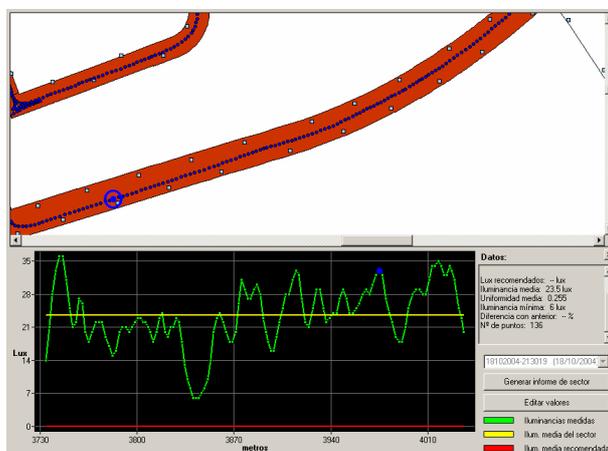


Fig. 5.1.2 : Localización de puntos de iluminancia en el mapa a partir de gráficos de evolución.

Otro temor existente, en cuanto a la presencia de errores de posición adicionales, tenía que ver con el retraso de la señal. Desde que el GPS recibe la señal hasta que es recibida por el ordenador pasa un determinado tiempo en el que el GPS procesa mediante cálculos relativamente complejos la señal y obtiene la posición, si a eso se le añade tiempos de



proceso mediante el software (para minimizarlos se captura el tiempo de la señal nada más entrar en el ordenador) se puede producir que la posición obtenida este más retrasada que la posición real donde se obtuvo (siempre hablando respecto a las medidas de iluminancia, que a priori requieren de menos procesado y se suponen más rápidas), teniendo en cuenta el movimiento del vehículo. Como se puede observar en la figura 5.1.2, el sistema sitúa correctamente los picos de iluminancia con las posiciones de los puntos de luz, mostrando escaso error y retraso de señal. Esto se debe esencialmente al buen comportamiento del GPS empleado y a las velocidades relativamente bajas utilizadas durante las medidas.

Una de las principales desventajas del uso de GPS es su incapacidad de posicionar en condiciones de baja o nula visibilidad del cielo. El comportamiento del GPS durante las pruebas así lo ha demostrado, limitando relativamente su uso, pero el funcionamiento del GPS empleado en pérdidas de visibilidad breves, como en el caso de el túnel que cruza una autovía de la figura 5.1.3, el GPS es capaz de seguir proporcionando posiciones durante unos pocos segundos después de perder la visibilidad, permitiéndole pasar exitosamente pequeñas zonas sin cobertura de señal.

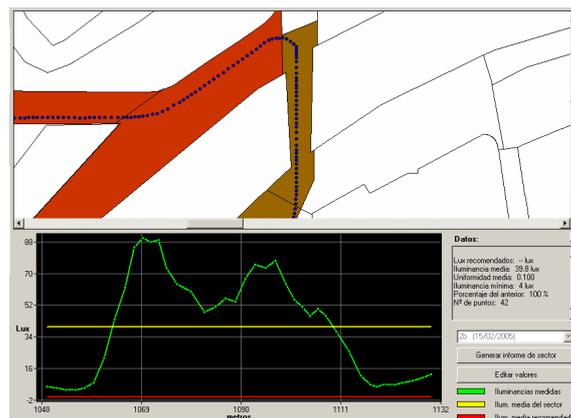


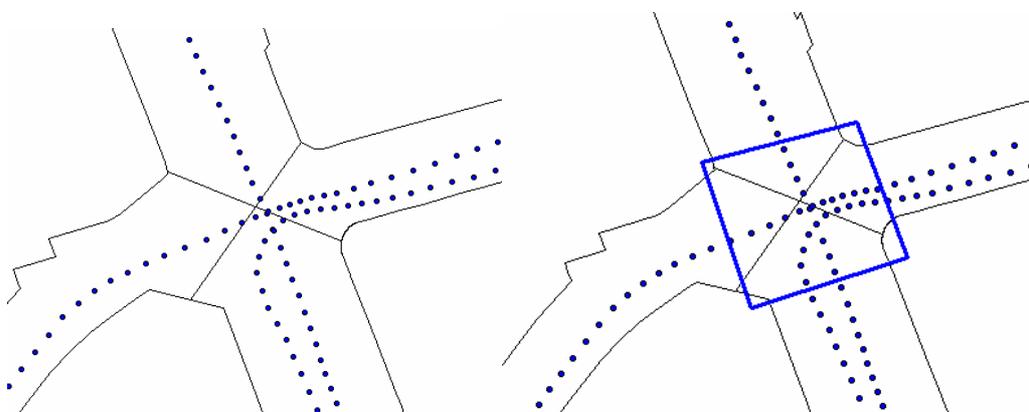
Fig. 5.1.3 : Sector de situado en un túnel.

En cuanto a las medidas de iluminancia el único problema hallado en las pruebas iniciales fue la presencia en ocasiones de valores extremadamente altos de iluminancia, por lo que se implementó en el pre-procesado un mecanismo de eliminación de picos, explicado en el apartado 4.4.2.

Otro problema detectado en las fases de desarrollo de VIALUM-SIG tenía que ver con la poligonización de los tramos urbanos de estudio. La forma en que se han trazado los polígonos en las capas de sectores (cartografía) determina el número de operaciones posteriores de reposicionamiento de medidas y la posibilidad de estudio de determinadas zonas. Si los polígonos están definidos a partir de mapas de construcciones, por ejemplo, esto hace que las aceras se incluyan dentro del sector, haciéndolo más ancho y por lo tanto



permitiendo más margen de error y haciendo que se requieran retocar menos medidas. Por lo tanto la metodología empleada para elaborar la cartografía tiene incidencia en la usabilidad del sistema. El otro factor es que la poligonización se hace una única vez (generalmente por empresas que se dedican a la venta de cartografías), y a partir de entonces quedan fijados definitivamente las formas, tamaños y localizaciones de los sectores. El que no se puedan cambiar provoca que no se puedan definir zonas especiales de estudio. Por ejemplo en la poligonización de la figura 5.1.4 el área del cruce queda dividida entre los cuatro sectores que concurren en el. Si se quisiera estudiar el comportamiento del alumbrado en esa zona particular no se podría al estar las medidas repartidas en cuatro sectores. De manera parecida sucedería si se desea conocer la iluminancia horizontal media de toda una calle que está dividida en diversos sectores.



[Fig. 5.1.4](#) : Poligonización de un cruce y el sector virtual empleado para su estudio.

Para solventar este problema se implementó en el software VIALLUM-SIG la herramienta denominada "sector virtual", mediante la cual se define un polígono cerrado temporal para el que se calculan los mismos valores que para los sectores normales, permitiendo englobar varios sectores a la vez o partes de uno o varios sectores. Otro posible uso que permite la herramienta de sector virtual es que permite definir un polígono temporal en lugares donde no existe poligonización, permitiendo realizar pequeños estudios de zonas no cartografiadas.

## 5.2. Especificaciones del sistema

Las especificaciones del prototipo final desarrollado del sistema VIALLUM son:

### 5.2.1. VIALLUM-Movil

- Sistema de obtención de medidas de iluminancia horizontal.



- Integrado en un vehículo para realización de medidas en movimiento.
- Sistema gobernado por ordenador de forma que obtiene medidas de iluminancia y posición a intervalos regulares de forma autónoma.
- Un solo operario requerido para el manejo del sistema. Las operaciones a realizar son, instalar el equipo en el vehículo, iniciar la captura, circular con el vehículo por las zonas a estudiar a la velocidad adecuada, y detener el sistema y desmontar una vez realizadas las medidas necesarias. El sistema se puede pausar y luego retomar las medidas sin cambiar de archivo de medidas.
- Medición de iluminancias horizontales a la altura del vehículo mediante célula luxométrica Chauvin-Arnoux CA 808, con corrección cromática y de coseno y error inferior al 2% para el rango de utilización de la aplicación. Resto de especificaciones en el anexo B.4.
- Transmisión de medidas de la célula luxométrica a través de multímetro GMC MetraHit 29S en intervalos configurables de 1, 0.5 y 0.2 segundos. La comunicación entre multímetro y ordenador se hace mediante puerto serie. Resto de las especificaciones en el anexo B.3.
- Posicionamiento de las medidas de iluminancia mediante GPS, con el modelo Garmin eTrex Vista. Que proporciona información sobre posición, velocidad y precisión a intervalos de dos segundos en formato NMEA, y con datum de salida configurable. Precisión nominal < 15 metros (90% del tiempo). Comunicación con ordenador por puerto serie. Resto de especificaciones en el anexo B.2.
- Salida de datos mediante fichero de texto plano en formato .dat para su uso en el software VIALLUM-SIG. Especificaciones en anexo C.3.
- Interfaz de usuario adaptado a la conducción nocturna (colores oscuros para evitar deslumbramientos al conductor), con mínimos controles y atajos de teclas para uso más rápido y simple.
- Visualización en pantalla de los valores medidos de iluminancia, velocidad y precisión del GPS.
- Representación de medidas capturadas en pantalla a través de mapa.
- Posibilidad de usar cartografía a modo de guía visual para el conductor, pudiendo observar zonas marcadas para su estudio. Especificaciones de la cartografía en el anexo C.1.
- Sistema de verificación de datum usado para garantizar la correcta configuración de la salida de datos del GPS.
- Alarmas de pérdida y recuperación de cobertura de señal de GPS.



- Alarmas de exceso y defecto de velocidad configurables para verificar la uniformidad.
- Controles de visualización del mapa: zoom, desplazamiento y vista global.

### 5.2.2. VIALLUM-SIG

- Software de procesado y visualización de las medidas obtenidas mediante el módulo VIALLUM-Movil.
- Estructura de SIG, con organización y tratamiento de la información a través de capas.
- Uso de cartografía de sectores de estudio. Especificaciones en el anexo C.1.
- Limitaciones en cuanto a los datums (WGS84 y European 54) y zonas de utilización del sistema (la implementación del algoritmo de conversión a coordenadas UTM sólo se ha hecho para las zonas UTM que abarcan España).
- Procesado, visualización y ordenado de las capas selectivos.
- Corrección de picos de iluminancia.
- Eliminación de medidas en paradas y uniformado de las interdistancias de las medidas.
- Limitación de número de medidas mínimas para el procesado de cada sector.
- Uso de valores de referencia de iluminancia horizontal media para cada sector para comparaciones visuales.
- Representación en pantalla de mapas usando escalas de colores para representar los valores. Los mapas que el sistema es capaz de mostrar son:
  - *Mapa de iluminancias horizontales medias medidas.*
  - *Mapa de iluminancia horizontales medias recomendadas (valor de referencia para cada sector).*
  - *Mapa comparativo de iluminancias medias medidas y recomendadas.*
  - *Mapa comparativo de iluminancias medias entre dos situaciones.*
  - *Mapa de uniformidades medias.*
- En los mapas son configurables la escala de colores, valores máximo, mínimo y número de divisiones de rango empleado, así como valores de referencia de representación de diferencias.



- Soporte de capas de información adicional para representar en mapas otra información visual útil. Especificaciones en anexo C.2.
- Impresión de mapas (con posición de la leyenda configurable).
- Exportar mapas como imágenes.
- Utilización de sectores virtuales para el estudio de zonas no definidas en la cartografía.
- Representación de gráficos de evolución de la iluminancia con la distancia, según sector o sesión de medidas. Posibilidad de localizar sobre el mapa posiciones marcadas sobre el gráfico de evolución, para encontrar, por ejemplo la posición de máxima o mínima iluminancia.
- Controles de zoom, desplazamiento y vista global, tanto para mapa y gráficos de evolución.
- Generación de listados de datos de sectores (todos o seleccionados), o de datos detallados (incluyendo medidas) relativos de un sector o sector virtual. En formato .csv, para dar formato o realizar otros cálculos mediante una hoja de cálculo.
- Exportación de las capas de sectores, incluidas tablas de datos asociadas, a otros sistemas de bases de datos o SIG's. La cartografía exportada se puede utilizar también a modo de guía con VIALLUM-Movil, visualizándose marcados los sectores seleccionados mediante VIALLUM-SIG.
- Marcado, selección, edición y borrado de sectores mediante métodos manuales y búsquedas según criterios.
- Herramientas de edición masiva de posición de medidas para corregir deficiencias de posicionamiento.
- Posibilidad de uso del sistema VIALLUM-Movil a través del interface de VIALLUM-SIG.

### **5.3. Metodología**

Todo SIG, además de constar de un hardware, un software, un conjunto de datos y de usuarios y mantenedores del sistema, consta de una serie de procedimientos, metodologías y prácticas operativas destinados a garantizar el correcto funcionamiento y uso del sistema. Dichas metodologías deberán ajustarse en cada momento a las características del SIG y de sus datos, a las circunstancias territorio tratado y a las necesidades de los usuarios, por lo que es necesario que se planifiquen y ejecuten



correctamente para minimizar la influencia de factores que puedan comprometer el funcionamiento del SIG y las conclusiones extraídas a partir de los datos.

El sistema VIALUM ofrece flexibilidad a la hora de funcionar permitiéndole ajustarse más o menos a las posibles necesidades de cada usuario o circunstancias. Pero dicha flexibilidad puede inducir a errores si no se tienen en cuenta algunos factores y no se establecen metodologías de uso del sistema habituales que estandaricen la obtención, manipulación y representación de los datos. En el caso del sistema VIALUM la planificación de estas metodologías se deja en manos del usuario, pero éste al menos deberá tener en cuenta como mínimo los siguientes factores en su elaboración:

- *Horarios:* la hora en la que se efectúan las medidas puede hacer variar notablemente las medidas a igualdad del resto de factores. Las causas que pueden contribuir a ello son, en primer lugar el efecto obvio de la salida o puesta del sol y en segundo lugar si las instalaciones tienen métodos de ahorro basados en reducción de la potencia a partir de ciertas horas. Dado que comparar medidas en periodos de potencia nominal con periodos de potencia reducida podría conducir a conclusiones erróneas, conviene establecer horarios fijos de realización de medidas teniendo en cuenta las horas de cambios de potencia a las que estén configuradas las instalaciones. El horario preferible es el de potencia nominal, y si se realizan medidas fuera del horario habitual o en condiciones distintas se ha de indicar en los comentarios de las medidas o en el nombre de la capa para identificarlo rápidamente. Otro factor que debe ser considerado en el horario es el relativo al horario de encendido: algunos tipos de lámparas pueden tardar hasta 20 minutos desde su puesta en marcha hasta estabilizar su flujo, por lo que se debe tener en cuenta que el horario contemple que las lámparas pueden necesitar un tiempo de estabilización.
- *Estado y circunstancias de la instalación:* Las circunstancias puntuales de las instalaciones de alumbrado pueden conducir a situaciones transitorias poco representativas del funcionamiento habitual de éstas. Un ejemplo de ello puede ser el estudio de una calle para comparar las prestaciones antes y después de un recambio masivo de lámparas, según el tipo, éstas pueden necesitar cierto número de horas de funcionamiento acumulado para estabilizarse su flujo (además del tiempo de estabilización después del encendido). Por lo tanto antes de las mediciones, en la elaboración del recorrido a realizar deberán considerarse los factores que pueden incidir puntualmente en las mediciones y que haga que diverjan del comportamiento de otra manera habitual, e indicarlás en el caso de que no se puedan corregir o evitar.



- *Velocidad de recorrido:* Dado que el sistema toma medidas a intervalos regulares, la velocidad se convierte en un factor crítico a la hora de hacer medidas por el hecho de que la resolución de las medidas (interdistancias) y la uniformidad de ésta depende de la velocidad y su variación. Es por ello que es necesario plantear las velocidades de recorrido de los sectores y ser coherentes con ellas en todas las medidas realizadas. El principal criterio de partida a la hora de decidir la velocidad de circulación es el de la resolución que se desea obtener. Por ejemplo, si se desea obtener una medida cada dos metros se deben conjugar dos factores: velocidad y frecuencia de medidas del multímetro. Configurando el multímetro a la frecuencia intermedia (dos medidas cada segundo) el cálculo sugiere que requeriría una velocidad de 4 m/s (aprox. 15 km/h). La principal problemática se sitúa en las velocidades relativamente altas, a más velocidad más interdistancia entre medidas, e interdistancias grandes pueden provocar que, en el caso de que los puntos estén relativamente próximos, medidas en diferentes lugares con interdistancias iguales puedan dar valores muy diferentes, por lo que la interdistancia se deberá imponer de manera que sea suficientemente más pequeña que la distancia entre puntos para obtener el número necesario de medidas entre puntos para garantizar su fiabilidad. Las velocidades bajas proporcionan resoluciones altas, asegurando muchas medidas entre puntos de luz, pero pueden tener implicaciones en las condiciones de tráfico, suponiendo un peligro incluso en algunas circunstancias o requiriendo señalización extra del vehículo. Dado que el uso del vehículo es en horas nocturnas (de menor tráfico generalmente) y en tramos urbanos (donde la velocidad es relativamente baja) velocidades contenidas entre 15 y 30 km/h son aceptables, entre las cuales se ajusta bien el sistema. En tramos de mayor velocidad, donde estas velocidades serían inaceptables los requerimientos de resolución no son, generalmente, tan críticos ya que las distancias entre puntos se hacen más largas y/o la iluminación más uniforme.

Además se requiere que la velocidad sea lo más uniforme posible y que la mayor parte del tiempo se circule a la velocidad planificada. Velocidades irregulares implican interdistancias irregulares y puede hacer algunas zonas del sector tengan más peso en la media que otras. Esto es especialmente crítico, nuevamente a velocidades superiores a las establecidas, puesto que en velocidades inferiores y paradas sobran medidas y se puede garantizar la uniformidad eliminando medidas, cosa que no se puede hacer a velocidades superiores para llegar a la interdistancia deseada. Con todo ello es necesario planificar las velocidades de recorrido de cada zona teniendo en cuenta la situación particular de tráfico y distancia entre puntos, e intentar mantener la mayor uniformidad de velocidad dentro de lo posible. Es por ello por lo que el sistema aporta alarmas de velocidad para ayudar al operario.



- *Recorrido*: La forma en que se recorren las áreas de estudio también puede determinar notablemente las comparaciones entre medidas. Siempre que se comparen dos situaciones se deben comparar mediante medidas obtenidas mediante el mismo recorrido. El sistema calcula las iluminancias medias independientemente si hay medidas en medio sector o a lo largo de todo el sector, por lo que no se puede comparar un recorrido de medio sector con uno en que se ha recorrido todo, puesto que las medidas corresponden a áreas diferentes. La forma en que se recorren vías de diversos carriles también afecta. Por ejemplo no se pueden comparar medidas hechas en el carril más cercano a los puntos de luz con el más lejano en una calle con distribución unilateral de los puntos, pero si en una con distribución a tresbolillo o bilateral, o bien, de la misma manera, tampoco se puede comparar iluminancias medias obtenidas en un carril con las obtenidas mediante más de un carril. Una medida útil es establecer de antemano la forma en que se recorren las vías de varios carriles, decidiendo cuantos y que carriles se deben medir, según sentidos o disposición de los puntos, por ejemplo. Teniendo en cuenta esto, es necesario establecer recorridos que se ajusten a las características de las instalaciones y de las vías donde se encuentran, y mantener los recorridos en las diferentes medidas en la medida de lo posible.
- *Configuración del sistema*: Para el correcto funcionamiento de dispositivos y software es requerido establecer procedimientos de puesta en marcha y verificación del sistema para garantizar que los datos medidos serán válidos y de que podrán ser tratados correctamente. Parte vital de ello es la etapa de visualización de datos en la captura de los mismos. Una vez conectados los dispositivos y encendidos y el sistema visualiza los datos medidos es necesario verificar el correcto funcionamiento (frecuencia del multímetro correcta y datum del GPS correcto) y aguardar unos minutos recibiendo datos con el vehículo parado, en una zona no muy iluminada y con visibilidad del cielo. Esto permite que los valores medidos por la célula se estabilicen y que el GPS consiga fijar un mayor número de satélites y proporcione una mayor precisión en las medidas iniciales. Otro factor importante es la configuración del software de VIALUM-SIG, especialmente la distancia mínima entre medidas y el número mínimo de medidas por sector. El primero debe ser un valor ajustado a la interdistancia entre medidas buscada (para una interdistancia de 2 metros un valor correcto sería el de 1,5 metros, eliminando medidas garantizando una interdistancia mínima de 1.5 metros). El segundo debe configurado para evitar el procesado en el caso de pasar fugazmente por un sector (un cruce por ejemplo) el cual otorgaría un valor que sería muy poco representativo del sector.

Una vez establecida una metodología de trabajo que delimite recorridos y velocidades teniendo en cuenta los factores mencionados anteriormente, ésta debe ser aplicada por el



personal en toda recolección de medidas y procesado de los datos, indicando si es necesario las incidencias que pueden afectar para que sean observadas a la hora de hacer comparaciones y extraer conclusiones.

## 5.4. Limitaciones

Debido a las características técnicas e implementación del sistema VIALLUM, éste tiene un conjunto de limitaciones, ya citadas a lo largo del texto, que impiden, desaconsejan o condicionan el uso del sistema en algunos casos, y que por lo tanto deben tenerse en consideración. Estas se pueden resumir en las siguientes:

- La altura de la célula hace que las iluminancias medidas no se hallen a la altura del suelo, lo que impide hacer comparaciones con valores de iluminancias medias e uniformidades referidas al suelo, como medidas por métodos habituales o valores recomendados por el CIE.
- La horizontalidad de la célula depende de la horizontalidad del vehículo, por lo que medidas en rampas la iluminancia no corresponde a valores de iluminancia horizontal, aunque este hecho no impide observar la evolución del nivel de alumbrado en dichas zonas.
- El vehículo no puede circular por cualquier sitio, por lo que las medidas sólo se pueden hacer en vías circulables y quedando excluidas zonas como tramos peatonales, aceras, parques, isletas de las vías, etc.
- La velocidad de circulación no puede ser cualquiera, ya que ésta depende, además de normas y condiciones de circulación, de la resolución que se desee obtener; su uniformidad también debe vigilarse para obtener unos datos más fiables.
- La cobertura del GPS puede variar de unas zonas a otras y dificultar o impedir el posicionamiento de las medidas. Zonas como túneles, que pese a ser circulables, quedan excluidas en la mayoría de los casos.





## 6. Impacto ambiental

Una vez descrito en que consiste la herramienta, su funcionamiento y su desarrollo, es necesario evaluar la incidencia de ésta sobre el medio. Para ello se deben tener en cuenta las diferentes etapas del proceso, desde la fabricación del producto hasta su retirada, incluyendo además el proceso de diseño y desarrollo del mismo.

En el presente proyecto, tanto en el desarrollo como en la vida útil del producto, los principales factores de incidencia son:

- Impacto ambiental derivado de procesos de fabricación de los componentes empleados en el sistema (equipamiento informático, vehículo, sensores, etc.).
- Consumo de energía eléctrica.
- Emisiones a la atmósfera y contaminación acústica generada por el vehículo.

Al tratarse de un sistema constituido por un software y un hardware formado por elementos independientes y adquiridos tal como se emplean, el impacto de fabricación y retirada del sistema completo se puede reducir a la suma del impacto de fabricación y retirada de los elementos que lo componen, ya que se puede menospreciar el montaje y desmontaje del sistema al ser un proceso relativamente simple, sin prácticamente aportaciones de materia o energía (esencialmente instalar software y conectar dispositivos).

El hardware empleado en una unidad funcional del sistema es el mismo empleado durante el desarrollo (si bien el uso de los diferentes elementos tiene proporciones distintas en desarrollo y vida útil del sistema), por lo que el impacto en términos de fabricación y retirada de equipos y materiales utilizados se puede considerar semejante en los utilizados durante el proceso de diseño y en los utilizados en una unidad funcional del sistema. En cuanto a tipos de elementos utilizados se pueden clasificar en tres tipos: equipamiento electrónico (ordenador, GPS, multímetro, etc.), vehículo y otros (material de oficina, baterías, etc.). El impacto de los procesos de fabricación y retirada no son pequeños debido a la complejidad, diversidad y, a menudo, peligrosidad de las tecnologías y materiales empleados y sobretodo teniendo en cuenta el volumen de consumo de la sociedad de estos tipos de productos. Por ejemplo, un ordenador de escritorio con su correspondiente monitor puede requerir para su fabricación 250 kg. de combustible fósil, 22 kg. de productos químicos y 1500 litros de agua [13]. En el caso de los vehículos el principal factor de impacto (el 90% según algunas organizaciones [14]) corresponde al generado durante la circulación del vehículo.



Tanto en diseño y en vida del producto, por la naturaleza multiuso de los principales equipos utilizados, la fracción de impacto por fabricación y retirada de un elemento correspondiente al desarrollo y utilización de la herramienta se reduce notablemente al asociarlo con una actividad concreta realizada por él. Es decir, el ordenador empleado en el desarrollo no se ha empleado únicamente en el diseño de la herramienta sino también en otros proyectos, como también el ordenador empleado para obtener medidas o analizar los datos puede tener otros usos (administrativos, por ejemplo). De la misma manera, el vehículo empleado para realizar las medidas puede pertenecer a la flota de vehículos empleada para el mantenimiento.

En cuanto a consumo de energía durante el desarrollo hay que considerar el impacto tanto del consumo eléctrico como del consumo de combustible. En la fase de diseño la mayor proporción corresponde al consumo eléctrico de equipamiento informático y demás aparatos eléctricos de oficina. Estimando para la realización del proyecto en unas 1000 horas, en las cuales se ha empleado un ordenador (portátil, 75W) y un uso compartido de demás equipamiento (un total de 147 Kwh.), y considerando una generación de 150 gr. CO<sub>2</sub> por Kwh. [15] el impacto total a grandes rasgos en la etapa de diseño es de 22 Kg. de CO<sub>2</sub>.

Durante el uso de la herramienta la mayor parte del impacto es debida a la utilización de un vehículo (por consumo de combustible y contaminación atmosférica y acústica emitidas), debido a, entre otras cosas, que la proporción de horas necesarias y recursos consumidos durante la toma de medidas es superior a los empleados durante el tratamiento informático. El principal parámetro para poder cuantificar el impacto de la utilización del vehículo es la distancia recorrida. Puesto que la distancia a recorrer dependerá de las características de las zonas a estudiar, de la metodología que se emplee y de la frecuencia con que se realicen los estudios es difícil valorar el impacto de la herramienta sin conocer las características concretas de uso en cada caso. Otro factor a tener en cuenta también es el vehículo empleado, que dependiendo de sus características puede tener un impacto mayor o menor.

Un ejemplo para ilustrar la magnitud del impacto sobre la atmósfera (en términos de CO<sub>2</sub>, si bien se emiten otros gases también) puede ser el siguiente: una localidad como puede ser Mataró (117000 habitantes y 22,5 km<sup>2</sup>, cercana a Barcelona) dispone de aproximadamente 150 km de vías urbanas que requieren de mantenimiento del alumbrado. Considerando un factor de 2,5 para considerar que algunas calles pueden requerir más de una pasada con el vehículo y la utilización de una furgoneta pequeña diesel (*Renault Kangoo 1.5 dCi*, 139 gramos CO<sub>2</sub> por km), la emisión de CO<sub>2</sub> a la atmósfera por un estudio con una toma de medidas de la localidad entera representaría al menos 52,125 Kg. (habría que considerar además desplazamientos si son requeridos). El impacto del ruido generado es más difícil



de valorar cuantitativamente, pero teniendo en cuenta que es únicamente un vehículo ligero, que circula a velocidades bajas, a horas nocturnas relativamente moderadas (realizando las medidas en horario de potencia nominal) se puede considerar como bajo.

Por otro lado hay que considerar que el uso de la herramienta, al permitir el estudio del comportamiento y prestaciones reales de las instalaciones de alumbrado, permite elaborar políticas de mantenimiento más ajustadas y que pueden contribuir a un uso y mantenimiento más eficiente del alumbrado. Ejemplos de actuaciones derivadas del uso del sistema que pueden ayudar a reducir el impacto del alumbrado público pueden ser:

- Reducción de potencia en áreas excesivamente iluminadas (excesivo gasto energético).
- Actuaciones para compensar zonas insuficientemente iluminadas (por ejemplo, poda de arbolado para corregir un apantallamiento que provocase una reducción de flujo luminoso útil).
- Ajuste de periodos de limpieza según la incidencia de la suciedad en diferentes zonas.
- Sustitución óptima de componentes (recambios masivos) según la valoración de la depreciación para mantener los niveles de eficiencia (lumen/W).
- Utilización de un tipo de elementos u otros en instalaciones nuevas a partir del estudio de la evolución de la eficiencia de los elementos en otras instalaciones.

Considerando que el impacto ambiental de las instalaciones de alumbrado no es pequeño (además del uso de sustancias peligrosas como el mercurio en lámparas y equipos electrónicos, y de la contaminación lumínica hay que considerar que son muchas las zonas y las horas que hay que alumbrar, con el consumo eléctrico que ello conlleva), si la herramienta permite establecer políticas para una mayor eficiencia de las instalaciones podría decirse que el impacto ambiental de desarrollo, uso y retirada de la herramienta puede considerarse compatible.

Otro aspecto a tener en cuenta en cuanto a la reducción del impacto de otros elementos que puede facilitar el uso de la herramienta es el relacionado con los siniestros. Un mejor seguimiento de las instalaciones implica unas mejores condiciones de iluminación y por lo tanto unas condiciones más seguras de uso de las vías que se traducen en tasas de siniestralidad más bajas con el consiguiente menor impacto humano y ambiental.

En cualquier caso, por razones de costes y de impacto en el ambiente, es necesario tener en cuenta algunas recomendaciones sobre el equipo utilizado y sobre el proceso de toma de medidas:



- Utilizar equipos de bajo consumo. Un ordenador portátil consume menos que uno de sobremesa.
- Emplear vehículos ligeros diesel, preferiblemente con filtros de partículas. Se puede emplear los mismos vehículos utilizados por el día para labores de pequeño mantenimiento.
- Intentar integrar la toma de medidas con otras tareas como pueden ser inspecciones visuales nocturnas de las instalaciones.
- Deshacerse de la forma más adecuada de baterías, equipos electrónicos y vehículos una vez finalizada su vida útil (puntos de recogida pertinentes).
- Utilizar baterías recargables en vez de baterías de un solo uso, para el multímetro o el GPS.



## 7. Planificación

El desarrollo del sistema VIALLUM se ha realizado a un ritmo de trabajo de 4 horas al día y 5 días a la semana, empleando un total de 49 semanas (no necesariamente consecutivas). En la figura 7.1 se muestra la planificación del proyecto, la cual se ha dividido en las siguientes etapas:

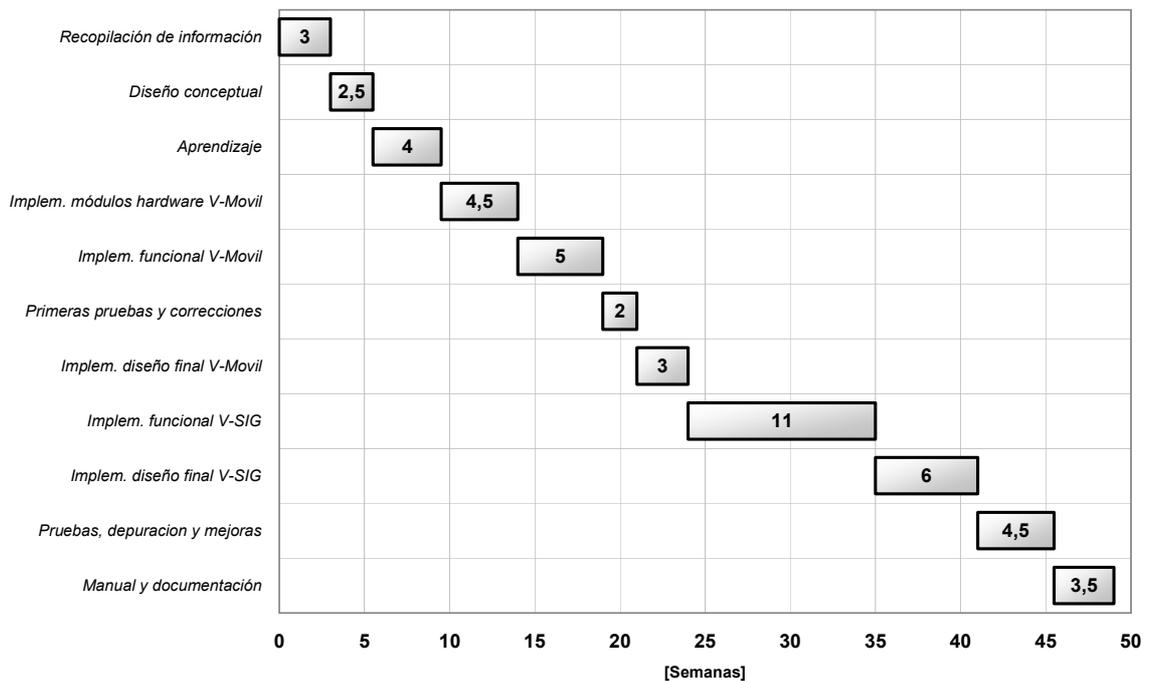


Fig. 7.1 : Planificación del proyecto.

1. *Recopilación de información*: En ella se estudian, entre otras cosas, generalidades sobre la evaluación de las instalaciones de alumbrado público, tecnologías, dispositivos, alternativas, soluciones en el mercado, etc. [3 semanas]
2. *Diseño conceptual*: Se evalúa la información recopilada y a partir de ella se definen las especificaciones y funcionalidades del sistema, se contempla a grandes rasgos la implementación técnica de la solución y se seleccionan los componentes y herramientas empleadas. [2,5 semanas]
3. *Aprendizaje*: Se profundiza en el conocimiento del manejo de los dispositivos y herramientas empleadas, especialmente en la programación en C/C++ con C++ Builder y MapObjects. [4 semanas]



4. *Implem. módulos hardware V-Movil*: Se desarrollan los elementos de código relativos al uso y configuración de los dispositivos de entrada de datos (GPS y multímetro). [4,5 semanas]
5. *Implem. funcional V-Movil*: Se desarrolla un primer software VIALLUM-Movil funcional con el cual empezar a realizar ensayos de mediciones. [5 semanas]
6. *Primeras pruebas y correcciones*: Se realizan los primeros ensayos de mediciones, descubriendo y corrigiendo errores y problemáticas no contempladas en el diseño conceptual. [2 semanas]
7. *Implem. diseño final V-Movil*: Se completa el desarrollo del software VIALLUM-Movil dotándole del interfaz y de las prestaciones finales. [3 semanas]
8. *Implem. funcional V-SIG*: Se desarrolla una primera versión del programa VIALLUM-SIG con las mínimas funcionalidades. [11 semanas]
9. *Implem. diseño final V-SIG*: Partiendo de las funcionalidades mínimas se desarrolla el interfaz y prestaciones adicionales para completar el software. [6 semanas]
10. *Pruebas, depuración y mejoras*: Se prueba el sistema, depurando errores e introduciendo mejoras en la usabilidad. [4,5 semanas]
11. *Manual y documentación*: Se redacta la documentación relativa al software y el manual de usuario del sistema. [3,5 semanas]



## 8. Presupuesto

El presupuesto que se expone a continuación abarca únicamente los costes asociados al desarrollo del prototipo funcional y de pruebas preliminares. No se ha desarrollado una valoración más detallada sobre el precio de venta puesto que las pruebas realizadas sobre el sistema, hasta el momento presente, únicamente han tenido un carácter de verificación del funcionamiento correcto del sistema, no de la valoración de las posibles consecuencias prácticas del uso del sistema, por lo que es aun difícil de valorar el volumen de mercado al que aspiraría un desarrollo comercial de la herramienta y las posibles ventajas o reducciones de costes que aportaría el producto en el mantenimiento del alumbrado (como reducciones de consumo, de recambios, de siniestralidad, etc.). Por ello el presupuesto presentado contempla la venta del desarrollo a un posible distribuidor que se encargase de la comercialización del sistema.

En el cálculo de costes se han considerado precios de mercado en el momento de adquisición del producto o realización de servicio, y en el caso del software empleado en el desarrollo se han empleado los precios de las versiones comerciales del software, pese haber empleado en el desarrollo las versiones académicas.

El coste global de desarrollo se ha desglosado en las siguientes partidas:

### 8.1.1. Costes de recursos humanos

Se han clasificado las horas estimadas de trabajo dedicadas al presente proyecto en tres categorías según su naturaleza, asociando un precio por hora medio de mercado para cada una. En la siguiente tabla se muestran los valores totales y parciales:

<b>Tarea</b>	<b>Horas</b>	<b>€/ hora</b>	<b>Coste €</b>
Analista	110	40	4400
Programador	800	20	16000
Administrativo	70	15	1050
<b>Total</b>	<b>980</b>	<b>21.88</b>	<b>21450</b>

*Tabla 8.1.1.1 : Costes de recursos humanos.*



### 8.1.2. Costes de recursos materiales

Se desglosan en dos tipos, recursos materiales dedicados exclusivamente al proyecto (elementos adquiridos para la realización del proyecto) y recursos materiales compartidos con otras tareas/proyectos (ordenador, material de oficina, electricidad, teléfono, etc.), de los cuales se computa la fracción correspondiente según el tiempo de utilización y periodo de amortización.

<b>Concepto</b>	<b>Coste en €</b>
GPS Garmin eTrex Vista	510
Multímetro GMC Metra Hit 29 S	717
Célula luxom. Chauvin Arnoux C.A. 808	232
Convertidores USB-Serie	42
Cables varios de conexión y alimentación, soportes, y baterías.	112
Material de formación para C++	53
Librerías ESRI MapObjects	9625
Cartografía adaptada de Esplugues de Llobregat	150
<b>Total</b>	<b>11441</b>

*Tabla 8.1.2.1 : Costes de recursos materiales dedicados.*

<b>Concepto</b>	<b>Coste en €</b>
Material de oficina	40
Material informático	142
Software de desarrollo Borland C++ Builder	85
Electricidad y teléfono	50
Vehículo para pruebas y gasolina	12
<b>Total</b>	<b>329</b>

*Tabla 8.1.2.2 : Costes de recursos materiales compartidos.*







## Conclusiones

En el presente proyecto se ha desarrollado un sistema para el estudio del nivel de servicio en términos lumínicos de grandes áreas con el fin proporcionar información útil del estado y evolución de las instalaciones para un mantenimiento y diseño de instalaciones nuevas más eficiente. Para ello se ha implementado con éxito el uso de un vehículo en movimiento para las mediciones y de tecnologías SIG, como GPS o software de tratamiento de datos con componente geográfica, para la manipulación, análisis y representación de los valores medidos. El resultado final del desarrollo han sido dos herramientas independientes y complementarias, *VIALLUM-Movil* y *VIALLUM-SIG*, que separan trabajo de campo (toma de medidas) y trabajo de oficina (tratamiento y análisis de la información).

Debido a la implementación del sistema y de las limitaciones de estar integrado en un vehículo (recorridos y altura del sensor) la herramienta resultante no puede sustituir a algunas metodologías empleadas habitualmente para valorar las prestaciones del alumbrado, como pueden ser mediciones de luminancias o métodos “punto a punto” de medición de la iluminancia media (los valores no son comparables con las iluminancias medias obtenidas con el sistema), pero si puede ser un buen complemento al proporcionar información valiosa sobre el estado, prestaciones y evolución de la iluminación en grandes áreas de forma relativamente simple y rápida, permitiendo el seguimiento y conocimiento del comportamiento de las instalaciones para poder aplicarlo posteriormente al mantenimiento y diseño de instalaciones. Dichas limitaciones hacen que la herramienta tenga un carácter comparativo, acentuado por la implementación del software, que hace que el funcionamiento y el análisis de la información se base en comparar diversas situaciones con medidas tomadas de la misma manera en espacios de tiempo diferentes para poder observar la evolución de las instalaciones a lo largo del tiempo y de las actuaciones realizadas en ellas.

De cara a superar la limitación del recorrido, así como para hacer más compacto y simple, el sistema una recomendación para futuros desarrollos del sistema sería el de integrar el sistema *VIALLUM-Movil* entorno a una PDA (ordenador del bolsillo) con GPS integrado y conectada al multímetro de forma que se pueda transportar fácilmente para poder realizar medidas donde el vehículo no pueda realizarlas y así poder integrar por ejemplo el estudio de zonas peatonales o aceras en el sistema.

En cuanto a la simplificación del proceso de recogida y tratamiento de los valores de iluminancia se ha conseguido reducir notablemente la intervención humana, automatizando los procesos mediante el uso del GPS y el software de forma que el tiempo de medición se adecua para permitir el estudio de grandes áreas y el tratamiento de los datos requiere una



intervención mínima del usuario. Durante el proceso de recogida de medidas el operario se limita a conducir el vehículo a una determinada velocidad por las zonas que se deben estudiar mientras el sistema efectúa las medidas automáticamente. Finalizadas las medidas se transfieren los datos a *VIALLUM-SIG* donde aparecen como una capa más, de forma que el usuario sólo tendrá que elegir los datos que quiere procesar para mostrar por pantalla o en listado. Aun manteniendo la simplicidad, el sistema permite exportar los datos obtenidos a otros sistemas para posibilitar su análisis más detallado o su cruce con otros datos.

La principal causa que condiciona el funcionamiento correcto del sistema o hace requerir una mayor intervención por parte del usuario es la disponibilidad de suficiente cobertura de señal de GPS. Basándose en las pruebas realizadas, se puede afirmar que en términos generales el rendimiento del GPS en el desempeño del sistema se muestra suficiente en la mayoría de zonas urbanas, aunque en determinadas circunstancias y lugares puede ser insuficiente. Gracias al estándar NMEA empleado para la comunicación entre el GPS y el software, en futuras implementaciones del software se podrían emplear GPS de mayor precisión (inferior al metro) mediante correcciones *Omnistar*, *Rasant*, correcciones vía *GPRS/UMTS* o bien añadir un software de post-procesado de los datos del GPS. Otra posibilidad para aumentar la robustez de las medidas de posición (en túneles por ejemplo) sería la posibilidad de añadir sensores de apoyo al GPS, como sistemas inerciales (giroscopios), sensor de dirección (orientación de las ruedas, brújula electrónica) y/o distancia-velocidad (odómetro).

Otros factores determinantes para el correcto uso y funcionamiento del sistema que se han observado son la metodología empleada (velocidad y recorridos) y las condiciones en que se hacen las medidas (horarios, estados de instalaciones, etc.). Dada la naturaleza comparativa del sistema, su operación requiere mantener una coherencia a la hora de realizar las medidas de forma que los resultados puedan ser comparables y no conduzcan a conclusiones erróneas. Por tanto es necesario que el usuario del sistema establezca unos criterios iniciales y los mantenga siempre que tome medidas.



## Agradecimientos

A Carlos Sierra Garriga, por sus conocimientos, tiempo, recursos y paciencia prestados, más allá de lo que se puede pedir a un director de proyecto de final de carrera.

A Oriol Vall-Ilovera y demás gente de Rubatec S.A., que se implicaron en el proyecto, por su apoyo y aporte de ideas durante el desarrollo.

A mi hermana Verónica, por su ayuda y sus sugerencias a la hora de redactar este proyecto.





## Bibliografía

### Referencias bibliográficas

- [1] CEI, COMITÉ ESPAÑOL DE ILUMINACIÓN. *CIE* [<http://www.ceisp.com/CIE/cie.htm>, 14 de marzo de 2005]
- [2] WIKIPEDIA. *SIG*. [<http://es.wikipedia.org/wiki/SIG>, 14 de marzo de 2005]
- [3] WIKIPEDIA. *Luz*. [<http://es.wikipedia.org/wiki/Luz>, 22 de junio de 2006]
- [4] CARANDINI. *Alumbrado público* 1992. Publicaciones técnicas de iluminación. [Pág. 11]
- [5] CIE, COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN. *Depreciación y mantenimiento de instalaciones de alumbrado público*. Publicación CIE nº 33-1977. [T.C. 4.6]
- [6] MANZANO, E.R. *Estudio de una metodología para evaluar la calidad del servicio del alumbrado urbano*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya 2000. [Caps. 1 y 5]
- [7] CIE, COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN: *Informe técnico. Métodos de diseño para la iluminación de Carreteras*. CIE nº 132-1999. [Págs. 2 y 3]
- [8] MINISTERIO DE FOMENTO. DIRECCIÓN GENERAL DE CARRETERAS. *Recomendaciones para la iluminación de carreteras y túneles*. 1999.
- [9] MARTÍN F. *Manual práctico de iluminación*. AMV Ediciones 2005.
- [10] FISCHER M.M., NIJKAMP P. *Geographic Information System, Spatial Modeling, and Policy Evaluation*. BERLIN & NEW YORK: SPRINGER-VERLAG, 1993. [Pág. 42]
- [11] GEOTECNOLOGÍAS S.A. *Generalidades del SIG*. [<http://www.geotecnologias.com/Documentos/GIS.pdf>, 15 de julio de 2006]
- [12] MARTÍN ASÍN F. *Geodesia y cartografía matemática*. Paraninfo 1990.
- [13] WILLIAMS E. *Revisiting energy used to manufacture a desktop computer: hybrid analysis combining process and economic input-output methods*. [<http://ieeexplore.ieee.org/iel5/9100/28876/01299692.pdf?arnumber=1299692>, 20 de junio de 2006]
- [14] HYBRIDCARS.COM *Total cycle impact*. [<http://www.hybridcars.com/total-cycle.html>, 10 de julio de 2006]



[15] LÓPEZ PATIÑO G. *Consideraciones energéticas y ambientales de la gestión de la demanda de agua.*

[[http://www.serea.upv.es/resumenes/C10\\_Consideraciones%20energ%C3%A9ticas%20de%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20la%20demanda.pdf](http://www.serea.upv.es/resumenes/C10_Consideraciones%20energ%C3%A9ticas%20de%20la%20gesti%C3%B3n%20de%20la%20demanda.pdf)]

## Bibliografía complementaria

CIE, COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN: *Informe técnico. Métodos de diseño para la iluminación de Carreteras.* CIE nº 132-1999.

CIE, COMISIÓN INTERNACIONAL DE ILUMINACIÓN: *Informe técnico. Guía para la iluminación de áreas urbanas.* CIE nº 136-2000.

GARCÍA J., BOIX O. *Luminotecnia. Iluminación de interiores y exteriores.*

[<http://edison.upc.edu/curs/llum>, 15 de julio de 2006]

ORTIZ G. *GIS - SIG Sistemas de Información Geográfica Recursos y la Mejor Comunidad de Usuarios* [<http://www.gabrielortiz.com>, 15 de julio de 2006]

PECANINS F., ROIG M. *Optimización de la gestión del alumbrado público: Método KLH.* Revista Luces CEI, mayo 1994.



## ANEXOS





## A. Cálculos empleados

### A.1. Ecuaciones de Coticchia-Surace

Convierten las coordenadas geográficas (en grados, minutos y segundos) en coordenadas UTM (en metros).

Los valores de partida son:

$X$	Longitud en grados decimales
$Y$	Latitud en grados decimales
$e'^2$	Segunda excentricidad al cuadrado
$c$	Radio polar de curvatura

$e'^2$  y  $c$  dependen del datum que se emplee y se calculan de la siguiente manera:

$$e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$$

$$c = \frac{a^2}{b}$$

Donde  $a$  y  $b$  son respectivamente el semieje mayor y menor de elipsoide asociado al datum. Dado que el programa solamente trabaja con los datums *WGS84* y *European 1950* los valores posibles serán los siguientes:

<i>WGS84</i> :	$e'^2 = 0.0067394967$	$c = 6399593.625$
<i>European-1950</i> :	$e'^2 = 0.0067681703$	$c = 6399936.609$

Los cálculos intermedios son:

$$huso = entero\left(\frac{\pm X}{6} + 31\right)$$

$$\lambda_0 = huso \cdot 6 - 183$$

$$\Delta\lambda = \frac{\pi}{180} \cdot (\pm X - \lambda_0)$$

$$\lambda = \pm X \cdot \frac{\pi}{180}$$



con +X para longitudes al este del meridiano de *Greenwich* y -X para las del oeste.

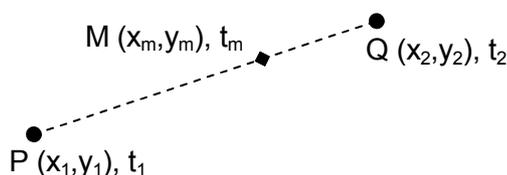
$$\begin{aligned}
 \varphi &= \frac{\pi}{180} \cdot Y & J_2 &= \varphi + \frac{A_1}{2} \\
 A &= \cos \varphi \cdot \sin \Delta \lambda & J_4 &= \frac{3 \cdot J_2 + A_2}{4} \\
 \xi &= \frac{1}{2} \cdot \ln \left( \frac{1 + A}{1 - A} \right) & J_6 &= \frac{5 \cdot J_4 + A_2 \cdot \cos^2 \varphi}{3} \\
 \eta &= \arctan \left( \frac{\tan \varphi}{\cos \Delta \lambda} \right) - \varphi & \alpha &= \frac{3}{4} \cdot e^2 \\
 \nu &= \frac{c}{\sqrt{1 + e'^2 \cdot \cos^2 \varphi}} \cdot 0.9996 & \beta &= \frac{5}{3} \cdot \alpha^2 \\
 \zeta &= \frac{e'^2}{2} \cdot \xi^2 \cdot \cos^2 \varphi & \gamma &= \frac{35}{27} \cdot \alpha^3 \\
 A_1 &= \sin(2 \cdot \varphi) & B_\phi &= 0.9996 c \cdot (\varphi - \alpha \cdot J_2 + \beta \cdot J_4 - \gamma \cdot J_6) \\
 A_2 &= A_1 \cdot \cos^2 \varphi
 \end{aligned}$$

Finalmente las coordenadas *UTM* ( $X'$  e  $Y'$ ) se calculan como:

$$\begin{cases}
 X' = \xi \cdot \nu \cdot \left(1 + \frac{\zeta}{3}\right) + 500000 \\
 Y' = \eta \cdot \nu \cdot (1 + \zeta) + B_\phi
 \end{cases}$$

En el caso de que el punto se encuentre en el hemisferio sur del planeta se debe sumar 10000000 al valor  $Y'$ .

## A.2. Interpolación de posiciones de medidas



[Fig.](#) A.2.1. Interpolación de posición de medidas.



Dadas dos medidas conocidas consecutivas de posición  $P (x_1, y_1)$  y  $Q (x_2, y_2)$  con sus respectivos tiempos  $t_1$  y  $t_2$  se desea interpolar linealmente la posición  $(x_m, y_m)$  de la medida  $M$  producida en un tiempo  $t_m$  entre las dos posiciones conocidas. Las ecuaciones de movimiento para velocidad constante son:

$$\begin{cases} x = a \cdot t + b \\ y = c \cdot t + d \end{cases}$$

Aplicando la ecuación en los puntos conocidos en los  $P$  y  $Q$  se obtienen los valores de  $a$ ,  $b$ ,  $c$  y  $d$ . Sustituyendo estos valores en las ecuaciones de movimiento y evaluándolas en  $t_m$  se obtiene la posición de la medida  $M$ :

$$\begin{cases} x_m = \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \cdot t_m + \left( x_1 - \frac{x_2 - x_1}{t_2 - t_1} \cdot t_1 \right) \\ y_m = \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \cdot t_m + \left( y_1 - \frac{y_2 - y_1}{t_2 - t_1} \cdot t_1 \right) \end{cases}$$

### A.3. Eliminación de medidas

El procedimiento empleado para eliminar medidas se basa en el empleo de una distancia mínima  $r$  entre medidas válidas. Se parte de una primera medida, considerada válida, y a partir de ella se calcula la distancia con respecto a las medidas consecutivas. Las medidas cuya distancia de la medida válida es inferior a  $r$  son eliminadas. Cuando se encuentra una medida cuya distancia es superior a  $r$  se considera ésta como medida válida y se continúa el proceso pero considerando las distancias respecto a esta última medida válida.

A continuación se describe con un ejemplo la metodología:

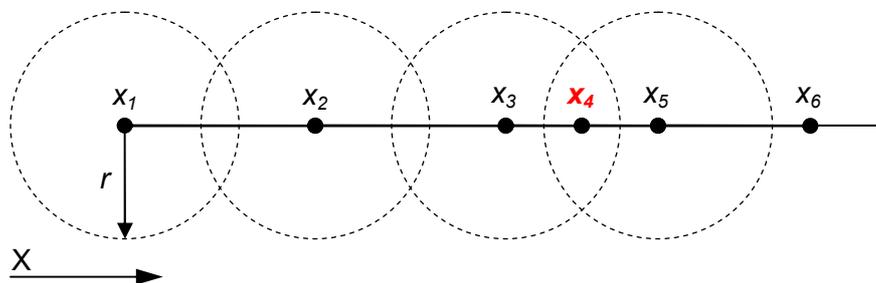


Fig. A.3.1. Eliminación de medidas según interdistancia.



Simplificando el proceso a una dimensión, se parte de un conjunto de medidas consecutivas medidas en las posiciones  $x_1, x_2, x_3, x_4, x_5$  y  $x_6$ . Se considera siempre válida la primera de un conjunto de medidas. Para comprobar si es válida la segunda se comprueba la distancia:

$$x_2 - x_1 > r \rightarrow \text{la segunda medida es válida y se conserva}$$

Se comprueba la tercera medida con la última medida válida, en este caso la segunda:

$$x_3 - x_2 > r \rightarrow \text{la tercera medida es válida y se conserva}$$

Se comprueba la cuarta medida con la última medida válida, en este caso la tercera:

$$x_4 - x_3 < r \rightarrow \text{la cuarta medida NO es válida y se elimina}$$

Se comprueba la quinta medida con la última medida válida, que aún es la tercera:

$$x_5 - x_3 > r \rightarrow \text{la quinta medida es válida y se conserva}$$

Finalmente se comprueba la sexta medida con la quinta medida, que es la última válida:

$$x_6 - x_5 > r \rightarrow \text{la sexta medida es válida y se conserva}$$

#### A.4. Eliminación de valores extremos

El procedimiento empleado para eliminar valores extremos se basa en la comparación de los incrementos o decrementos de la iluminancia entre la medida y la última medida válida con la media del valor absoluto de la variación de la iluminancia entre medidas consecutivas  $d$  multiplicada por un factor  $f$  ajustable donde:

$$d = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} |e_{i+1} - e_i|$$

El mecanismo de funcionamiento es el siguiente:

$$\text{si } |e - e'| < f \cdot d \rightarrow \text{la medida es válida}$$

$$\text{si } |e - e'| \geq f \cdot d \rightarrow \text{la medida NO es válida}$$



donde  $e$  es la iluminancia de la medida que se analiza y  $e'$  es la iluminancia de la última medida válida.

El ejemplo de la figura continuación se trataría de la siguiente manera:

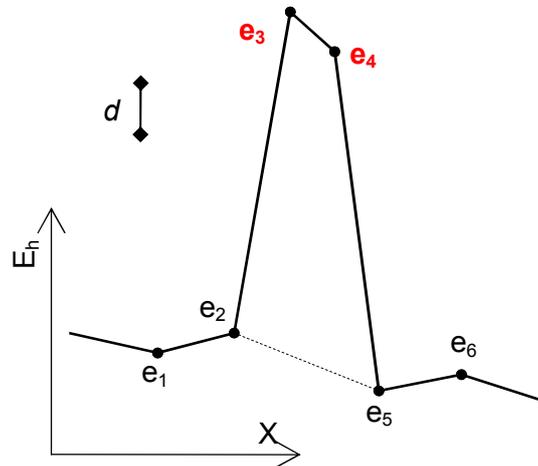


Fig. A.4.1. Eliminación de valores extremos.

Se empleará en el ejemplo un factor  $f = 3$ . Se calcula el valor  $d$  (representado por un segmento). La primera medida se considera siempre válida.

Se comprueba la validez de la segunda medida comparándola con la primera:

$$|e_2 - e_1| < f \cdot d \rightarrow \text{la medida es válida y se conserva}$$

Se comprueba la validez de la tercera medida comparándola con la última válida (la segunda):

$$|e_3 - e_2| > f \cdot d \rightarrow \text{la medida es no válida y se elimina}$$

Se comprueba la validez de la cuarta medida comparándola con la última válida (la segunda):

$$|e_4 - e_2| > f \cdot d \rightarrow \text{la medida es no válida y se elimina}$$

Se comprueba la validez de la quinta medida comparándola con la última válida (la segunda):

$$|e_5 - e_2| < f \cdot d \rightarrow \text{la medida es válida y se conserva}$$

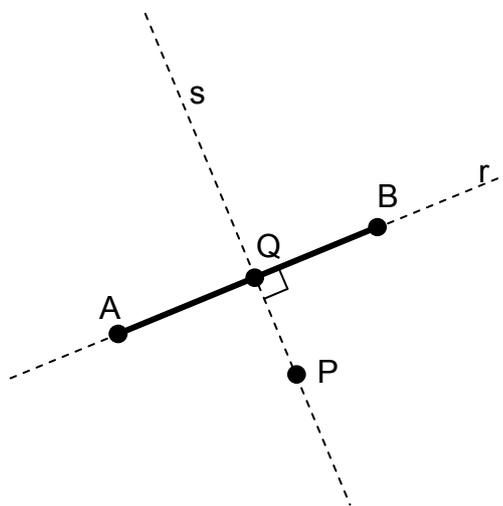


Finalmente se comprueba la validez de la sexta medida comparándola con la última válida (la quinta):

$$|e_6 - e_5| > fd \rightarrow \text{la medida es válida y se conserva.}$$

## A.5. Corrección de posición de puntos de medida

El funcionamiento de la corrección de posición se basa en la proyección de los puntos que se desean corregir sobre una recta trazada por el usuario. La situación es la representada en la figura: el punto que se desea mover es el punto  $P$ , proyectándolo en una recta  $r$  obtenida a partir de dos puntos proporcionados por el usuario,  $A$  y  $B$ , obteniendo la nueva posición  $Q$ . El método para conseguirlo es buscando la intersección entre la recta  $r$  y la recta  $s$ , perpendicular a  $r$  y que pasa por el punto  $P$ .



[Fig.](#) A.5.1. Corrección de posiciones de medidas.

Partimos de que las ecuaciones de la recta son las siguientes:

$$\begin{cases} r \rightarrow y = m \cdot x + b \\ s \rightarrow y = m' \cdot x + b' \end{cases}$$

Aplicando la ecuación de la recta  $r$  sobre los puntos  $A$  y  $B$ , la relación entre pendientes en rectas perpendiculares, y a continuación haciéndose pasar la recta  $s$  por el punto  $P$ , se calculan los siguientes valores:



$$m = \frac{y_A - y_B}{x_A - x_B}$$

$$b = y_A - m \cdot x_A$$

$$m' = \frac{-1}{m}$$

$$b' = y_P + \frac{x_P}{m}$$

Una vez calculados los parámetros necesarios, se sustituyen en el sistema de ecuaciones que se obtiene al buscar la intersección de las rectas  $r$  y  $s$ , obteniéndose las coordenadas del punto  $Q$  final.

$$\begin{cases} y_Q = m \cdot x_Q + b \\ y_Q = \frac{-x_Q}{m} + b' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} x_Q = \frac{b' - b}{m + \frac{1}{m}} \\ y_Q = m \cdot x_Q + b \end{cases}$$





## B.Especificaciones del hardware empleado

### B.1. Ordenador

Ordenador portátil HP compaq nx5000

- Procesador Intel® Pentium® M a 1.5 GHz
- Microsoft® Windows® XP
- 512 MB RAM
- Disco duro de 30 GB
- 2 puertos USB 2.0 y puerto serie.
- Pantalla de 1024 x 768 píxeles.

### B.2. GPS

GPS modelo *eTrex Vista*® de la marca *Garmin*®.

- Receptor: 12 canales paralelos, preparado para señal diferencial (WAAS y EGNOS).
- Arranque: 15 segundos (en caliente), 45 segundos (en frío), 5 minutos (primera vez).
- Precisión: < 15 m (95% tiempo), < 3 m (95% del tiempo) con correcciones WAAS-EGNOS.
- Interface de entrada/salida: NMEA 0183, RTCM 104, formatos propietarios de Garmin y RS232 para comunicación con PC.
- Antena: Incorporada (Interior).
- Compás Electrónico.
- Barómetro/altímetro integrado.
- Soporta cartografía (24 MB de memoria dedicada).
- Capacidad datos: 500 waypoints, 20 rutas de 50 waypoints c/u, 10 tracklogs de 3000 puntos c/u.
- Alimentación: externa (2.5 V) o baterías (2 AA, hasta 12 horas de uso continuo).
- Carcasa con protección IPX7.
- Dimensiones: 112 x 50 x 30 (mm).
- Pantalla: 2.7 x 5.4 cm con 128 x 64 píxeles, retroiluminada.
- Peso: 150 gr.



Otras especificaciones relativas al proyecto:

- Frecuencia de salida de datos en formato NMEA cada 2 segundos (a 9600 baudios).
- Instrucciones NMEA disponibles: GPGGA, GPGLL, GPGSA, GPGSV, GPRMB, GPRMC, GPRTE, GPVTG, GPWPL, GPBOD, GPRME, GPRMM, GPRMZ y HCHDG.
- Datum de datos de salida NMEA ajustable (más de 100 para elegir).

### B.3. Multímetro

Unidad *Metra Hit 29S* de *GMC Instruments Group* con el adaptador a puerto serie *BD232* del mismo fabricante.

#### **Metra Hit 29S**

- Triple indicador  $\pm 310.000$  dígitos.
- Error intrínseco reducido ( $\pm 0,02\% + 10$  dígitos con  $V_{DC}$ ).
- Funciones de medida: 300 mV-1000V, 300uA-100A, 300Ohm-30Mohm, 3nF-30mF, dBV, Hz, °C-°F.
- W, VA, Var, Wh, Vah, característica de carga punta, análisis y registro de perturbaciones de red.
- Bloqueo automático de terminales ABS.
- Interfaz IR
- Prueba de continuidad y diodos
- Memoria de valores de medida de 128kB integrada.
- Periodo de muestreo: desde 0,05s hasta 10 min. (desde 0,0005s para valores en memoria), según magnitud.
- Amplia gama de funciones de disparo
- Memoria de valores mín./máx., DATA-Hold
- Certificado CSA
- Certificado de calibración DKD
- CAT IV @ 300V o CAT III @ 600V, según IEC 61010-1
- Alimentación: 2 baterías AA (100 horas de uso con alcalinas).
- Dimensiones: 84 x 195 x 35 (mm).
- Peso: 405 g.
- Protección IP50.

#### **BD232**

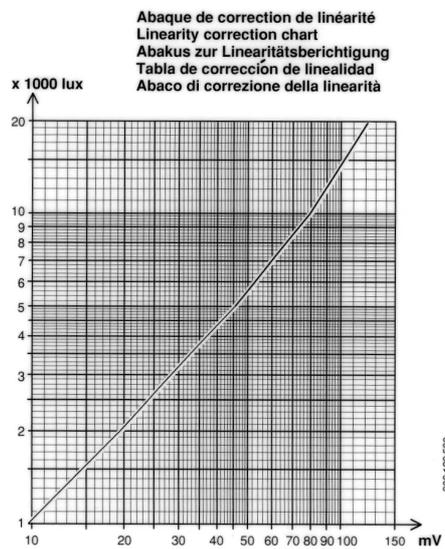


- Adaptador de interfaz IR a RS232 (macho DB9) a 19200 baudios.
- Dimensiones: 135 x 97 x 39 (mm).

## B.4. Célula luxométrica

Modelo CA808 de la marca *Chauvin Arnoux*.

- Rango de medidas: 20-20000 lux. \*
- Respuesta espectral y espacial corregida según normas I.E.C.
- Sensibilidad: 1 mv DC – 100 lux.
- Comportamiento lineal de las medidas hasta 2000 lux.
- Error intrínseco: 2%.
- Condiciones ambientales de funcionamiento: de -5 a 50 °C y de 20 a 80% humedad.
- Protección IP54.
- Impedancia mínima del multímetro: 300 k $\Omega$
- Cable de 2 m, bananas de diámetro de 4 mm.
- Dimensiones: 123 x 103 x 26 (mm).
- Peso: 300 g.



**Fig. B.4.1** Tabla de corrección de linealidad de la célula.

\* Se ha contrastado el comportamiento de la célula entre 0 y 20 lux con luxómetros válidos para ese rango demostrando ser fiable para ese rango a pesar de no encontrarse en las especificaciones del fabricante.



## B.5. Accesorios

Otros elementos empleados para el correcto funcionamiento del sistema son: [por hacer]

- Cable de datos y alimentación para Garmin eTrex Vista: Convierte la conexión propietaria del GPS a un conector RS232 macho de 9 pines y alimenta el GPS a partir de una toma de corriente de 12 voltios de coche.
- Cable serie transparente 9 pines macho-hembra: Para conectar el multímetro al ordenador.
- Conversor USB-RS232: Convierte un puerto USB tipo A hembra a un puerto serie RS232 de 9 pines hembra. Se emplea para obtener puertos serie para conectar GPS y multímetro, ya que los ordenadores portátiles actuales generalmente traen un puerto serie o ninguno, mientras que si suelen disponer de 2 o más puertos USB.
- Soportes varios para ordenador, GPS y célula luxométrica.

Otros accesorios opcionales pueden ser:

- Conversor 12-220V para alimentar el ordenador a partir de una toma de corriente de 12 V del vehículo.
- Antena rerradiante: Conduce la señal de GPS al interior del vehículo cuando éste está equipado con parabrisas con recubrimiento de partículas metálicas.



## C.Especificaciones y formato de archivos

### C.1. Capas de sectores

- Formato *Shapefile* (3 archivos con extensiones *.shp*, *.dbf* y *.shx*).
- Elementos de tipo polígono cerrado representando los diferentes sectores de estudio de las iluminancias medias.
- Coordenadas en formato UTM (unidades en metros).
- Referenciado en datum *European-1950* o bien *WGS84* (el datum debe ser el mismo en todas las capas empleadas en un proyecto).
- Los campos de la tabla dBase asociada (archivo *.dbf*) son:

Nombre del campo	Tipo de valor	Valor por defecto	Descripción
ID	Int	diferente	Es un valor para identificar inequívocamente cada sector de la capa, por el que el valor para cada sector ha de ser diferente.
CALLE	String	vacío	Identifica la vía a la que pertenece el sector. No es necesario para el procesar los datos pero simplifica el tratamiento de éstos por parte del usuario.
LUX	Int	-1	Representa el valor de la iluminancia media medida para dicho sector en lux. El valor por defecto indica que no se han procesado medidas para dicho sector.
LUXREC	Int	0	Indica el valor de iluminancia media de referencia del sector en lux. El valor 0 indica que no hay recomendación para el sector.
L-LR	Int	-100	Se emplea para representar los mapas de comparación valores medidos-recomendados e indica la magnitud de la diferencia entre valor medido y valor recomendado de iluminancia media de un sector, siendo su valor según la siguiente tabla: $PC = 100 \cdot (LUX - LUXREC) / LUXREC$ Si $PC > \%porcentaje \rightarrow L-LR = 2$ Si $0 < PC \leq \%porcentaje \rightarrow L-LR = 1$ Si $PC = 0 \rightarrow L-LR = 0$ Si $0 > PC \geq -\%porcentaje \rightarrow L-LR = -1$ Si $PC < -\%porcentaje \rightarrow L-LR = -2$ donde <i>%porcentaje</i> es el valor de corte al que está



			configurado el software. -100 indica que no se han podido comparar los valores.
UNIFMED	Float	-1	Indica el valor de la uniformidad media medida a la altura del techo. El valor por defecto significa que no se ha podido calcular. Se consideran 3 valores decimales.
DIFANT	Int	-1000	Representa el porcentaje que representa el ultimo procesado respecto el procesado anterior: $DIFANT = 100 \cdot E_{m \text{ ult.}} / E_{m \text{ ant}}$ El valor por defecto indica que no se han podido comparar.
NPUNTOS	Int	-1	Contiene el número de puntos que se han considerado en el cálculo de los diferentes valores.
SELRUT	Int	0	Sirve para indicar si el sector está seleccionado (1) o no (0).
TIPOC	String	vacío	Muestra el tipo de vía del sector (calle, avenida, plaza, etc.). No es necesario introducir el valor, pero proporciona mayor información en los informes.
MINLUX	Int	-1	Indica el valor de iluminancia mínimo observado en dicho sector (a la altura del vehículo) en lux. El valor -1 indica que no se encontraron medidas en dicho sector.

## C.2. Capas de información adicional

- Formato *Shapefile* (3 archivos con extensiones *.SHP*, *.DBF* y *.SHX*).
- Coordenadas en formato UTM (unidades en metros).
- Referenciado en datum *European-1950* o bien *WGS84*. El datum debe ser el mismo en todas las capas empleadas en un proyecto.
- Sin limitaciones respecto al tipo de elemento (puntos, líneas, polígonos, etc.) o campos del archivo dBase asociado (*.DBF*).

## C.3. Capas de medidas

- En formato texto con extensión *.DAT*.
- Diferentes medidas separadas por retorno. Diferentes valores separados por comas.
- Se utiliza el carácter '.' como separador decimal.



**Ejemplo:**

```

$ 1.5,3
$ Comentarios
$ Ejemplo de archivo de medidas
121.703,1,41.3807933,N,2.08434333,E,5.1,3.54967,,,89.4,136.6,,,15/02/2005_19:41:08,European 1950,18,41,0,15,2,5
122.828,3,,,,,0,0,,,,,
123.031,2,,,,,3,0.027,15/02/2005_19:41:09,,,,,
123.531,2,,,,,2,0.024,15/02/2005_19:41:09,,,,,
123.828,3,,,,,0,0,,,,,
124.031,2,,,,,2,0.023,15/02/2005_19:41:10,,,,,
124.531,2,,,,,2,0.023,15/02/2005_19:41:10,,,,,
123.719,1,41.380795,N,2.084428333,E,5.1,3.65256,,,89.8,136.5,,,15/02/2005_19:41:10,European 1950,18,41,2,15,2,5
124.828,3,,,,,0,0,,,,,
125.031,2,,,,,3,0.027,15/02/2005_19:41:11,,,,,
125.531,2,,,,,4,0.036,15/02/2005_19:41:11,,,,,
125.828,3,,,,,0,0,,,,,
126.031,2,,,,,5,0.046,15/02/2005_19:41:12,,,,,
126.531,2,,,,,6,0.055,15/02/2005_19:41:12,,,,,
126.828,3,,,,,0,0,,,,,
126.015,1,41.380795,N,2.08451666666,E,5.4,3.704,,,90.4,136.9,,,15/02/2005_19:41:12,European 1950,18,41,4,15,2,5

```

Se definen dos tipos de líneas:

- **Líneas de información sobre sesión:** Se encuentran al inicio del archivo y comienzan con '\$'. La primera línea de información sobre la sesión incluye dos valores separados por coma. El primero es la altura de la célula a la que se han realizado las medidas y el segundo el meridiano central del huso UTM utilizado (valor positivo si esta situado al este del meridiano de Greenwich). El resto de las líneas contienen los comentarios introducidos por el operario al empezar la sesión de medidas
- **Líneas de medidas:** Contienen los datos obtenidos por un sensor en un momento dado. Según el sensor se utilizan unos campos u otros, dejando vacíos los campos de los que el sensor no puede proporcionar información. El significado de los valores por el orden en el que aparecen es el siguiente:
  - Tiempo relativo de recepción de señal del sensor en segundos. Común a todos los sensores. Campo obligatorio.
  - Tipo de dato. '0' para señal de GPS no válida, '1' para señal del GPS válida, '2' para señal de multímetro, '3' señal de dispositivo alternativo. Campo obligatorio.
  - Latitud geográfica. En grados decimales. Sólo con señal de GPS.
  - Hemisferio de latitud. 'N' para hemisferio norte, y 'S' para hemisferio sur. Sólo con señal del GPS.
  - Longitud geográfica. En grados decimales. Sólo con señal del GPS.



- Hemisferio de longitud. 'E' para hemisferio este y 'W' para hemisferio oeste según el meridiano de Greenwich. Sólo con señal del GPS.
- Precisión horizontal del GPS. En metros.
- Velocidad en m/s proporcionada por el GPS.
- Velocidad en m/s según odómetro. Valor no utilizado.
- Distancia recorrida en metros según odómetro. Valor no utilizado.
- Dirección en grados decimales según GPS y según satélites.
- Dirección en grados decimales según GPS y según compás electrónico.
- Iluminancia medida por la célula luxométrica en lux. Sólo con señal del multímetro.
- Valor medido del multímetro en mV. Sólo con señal del multímetro.
- Fecha y hora local de la medida. Campo obligatorio.
- Datum de salida de las coordenadas geográficas. Sólo con señal del GPS.
- Hora del horario UTC (tiempo universal coordinado). Sólo con señal del GPS.
- Minuto del horario UTC. Sólo con señal del GPS.
- Segundo del horario UTC. Sólo con señal del GPS.
- Día del horario UTC. Sólo con señal del GPS.
- Mes del horario UTC. Sólo con señal del GPS.
- Año del horario UTC. Sólo con señal del GPS.



## D.Manual de usuario

El texto a continuación está extraído del fichero de ayuda "VIALLUM.chm" correspondiente al manual de uso del sistema y que se instala junto al software.

### Advertencia sobre la información proporcionada por el sistema VIALLUM.

Debido a las características del sistema y las limitaciones derivadas de éstas (descritas en [Limitaciones](#)), la validez de la información proporcionada por el sistema VIALLUM debe ser evaluada y considerada con cautela. Por lo cual, los creadores y distribuidores del sistema VIALLUM no se responsabilizarán de daños producidos, tanto por errores u omisiones en la toma de medidas así como de errores en la evaluación, interpretación o toma de decisiones a partir de la información proporcionada por el sistema VIALLUM. Es por ello necesario conocer y comprender el funcionamiento del sistema para evitar errores en las mediciones e interpretaciones incorrectas de los datos.

### D.1. Introducción al sistema VIALLUM

#### ¿Qué es el sistema VIALLUM?

El sistema VIALLUM es un conjunto de herramientas para la medida y evaluación del nivel de iluminación de zonas urbanas. Concretando más, y con VIALLUM como acrónimo de "*Vehicle for Illuminance Analysis and Lightening Level and Uniformity Mapping*", el sistema consiste en un conjunto de hardware y software integrado en un vehículo para realizar medidas de niveles de iluminancia en vías urbanas y facilitar su posterior análisis y elaboración de mapas de nivel de iluminación y uniformidad de la misma.

El hecho de estar integrado en un automóvil y gestionado por un software, junto a la utilización de un GPS, permite tomar medidas de forma automática con el vehículo en movimiento, pudiéndose realizar mediciones de grandes áreas en tiempos relativamente cortos. El procesado, evaluación y visualización de las medidas también es ágil, elaborando rápidamente mapas y tablas de niveles medios de iluminancia, uniformidades, así como comparativas temporales y entre valores de referencia y medidos.

- [Ejemplo de mapa de iluminancias medias.](#)

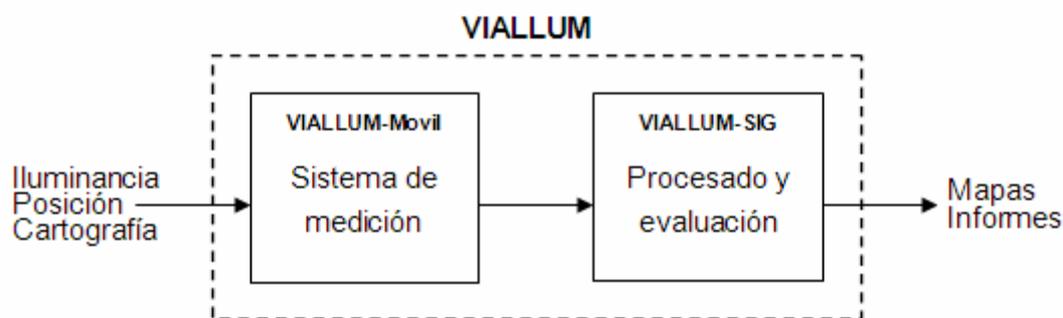


- [Ejemplo de tabla de sectores.](#)

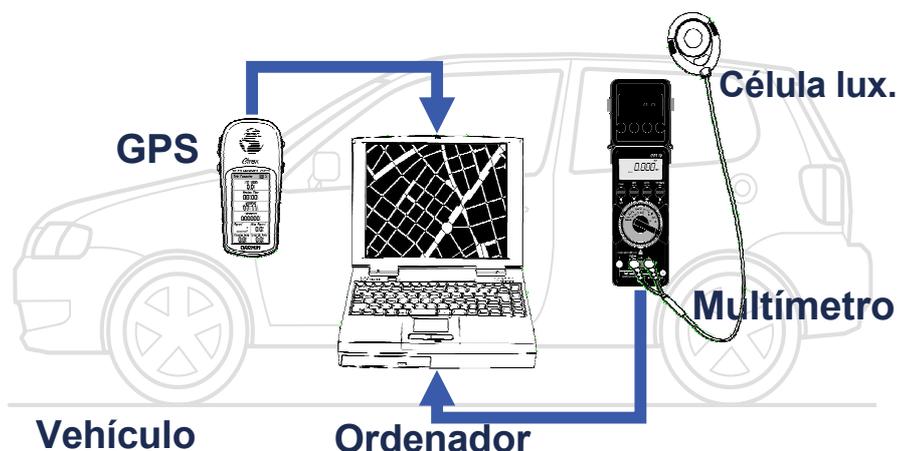
Los mapas, junto a otras informaciones proporcionadas por el sistema, permite al operario poder ver las prestaciones del sistema a partir de las comparaciones de las diferentes medidas, pudiendo observar la evolución del nivel de alumbrado con el tiempo y las operaciones mantenimiento, siendo útil para establecer políticas generales de alumbrado, tanto en mantenimiento como instalación una vez se conoce el comportamiento y evolución reales de las instalaciones sobre el terreno.

### Funcionamiento de *VIALLUM*

El sistema *VIALLUM* está compuesto por dos módulos: *VIALLUM-Movil* y *VIALLUM-SIG*, ambos con funciones bien definidas. *VIALLUM-Movil* es el módulo encargado de tomar las medidas de iluminancia. *VIALLUM-SIG* se encarga de ordenar y procesar los datos proporcionados por *VIALLUM-Movil*, y de mostrar los resultados.



#### *VIALLUM-Movil*:



El sistema va montado sobre un vehículo (turismo o vehículo comercial pequeño). Consta de:

- *Un ordenador portátil:* Encargado de procesar y almacenar la información y mostrar datos de interés.
- *Un sistema de medición de iluminancia:* Una célula luxométrica conectada a un multímetro con conexión a PC.
- Un sistema de geoposicionamiento: Un terminal de *GPS* (sistema de posicionamiento global) que proporciona información sobre la posición del vehículo en un mapa.

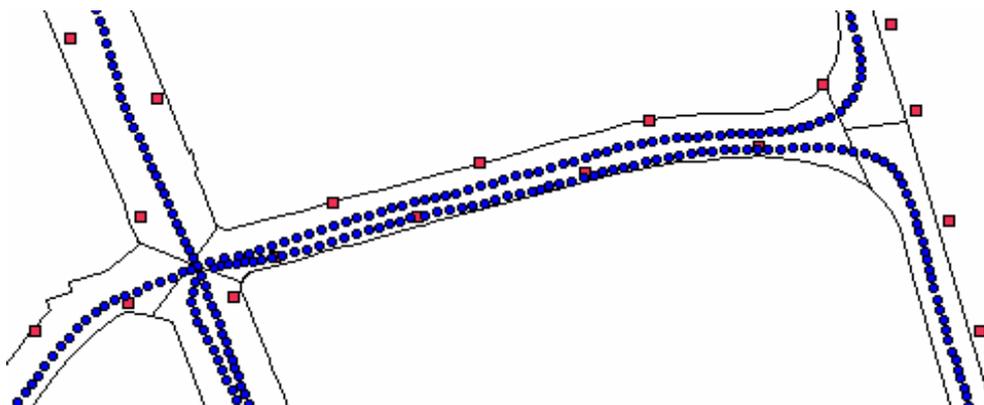
Una vez conectados y configurados todos los dispositivos. Se inicia el software *VIALLUM-Movil*, donde se terminan de configurar elementos de hardware y software. Una vez verificado el correcto funcionamiento se procede a la captura de datos. Ésta se realiza circulando por las vías que se desean estudiar a una velocidad previamente establecida (Ver [Limitaciones](#)). El sistema automáticamente y a intervalos regulares de tiempo va tomando medidas de iluminancia y de posición, almacenando todos estos datos en un fichero con extensión *.dat*, que posteriormente es cargado en el software *VIALLUM-SIG*.

#### ***VIALLUM-SIG:***

Es el software encargado de procesar los datos obtenidos por *VIALLUM-Movil* y de asociarlos a mapas de sectores urbanos. El software tiene la estructura habitual de los *SIG's* (Sistema de Información Geográfica), de forma que la información se organiza en forma de grupos de capas (contenedores de diferentes tipos de información) vinculadas entre sí por la posición geográfica.

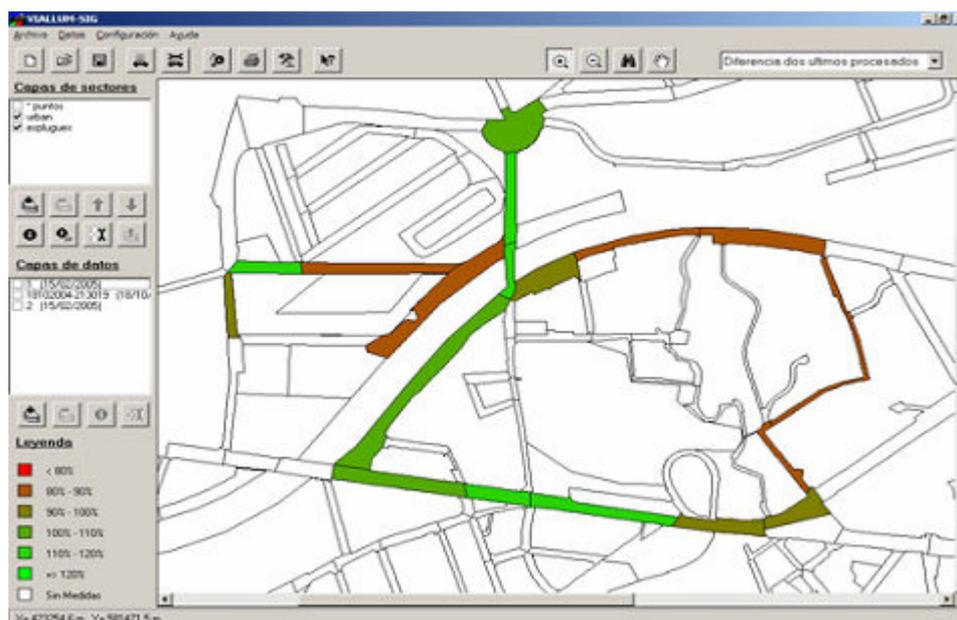
Para ello es necesario, además de los datos capturados por *VIALLUM-Movil*, la cartografía urbana con los sectores de estudio delimitados. El programa obtiene las medidas tomadas en el interior de cada sector y las procesa conjuntamente, obteniendo valores de iluminancia horizontal media y uniformidad media de dicho sector.





Ejemplo de diferentes capas: En negro cartografía, en azul medidas de iluminancia y en rojo posiciones de puntos de luz.

Además los valores obtenidos se pueden comparar con otros valores, como pueden ser valores de referencia introducidos o valores de medidas anteriores, permitiendo así obtener mapas comparativos que permite observar gráficamente deficiencias o evolución temporal del nivel de iluminancia.



Comparación entre dos medidas con 4 meses de diferencia.

VIALLUM-SIG también aporta otras herramientas para estudios más detallados de nivel de iluminación, como pueden ser Gráficos de evolución de la iluminancia, sectores virtuales o selección avanzada (explicados en *Procesado y visualización de datos*).



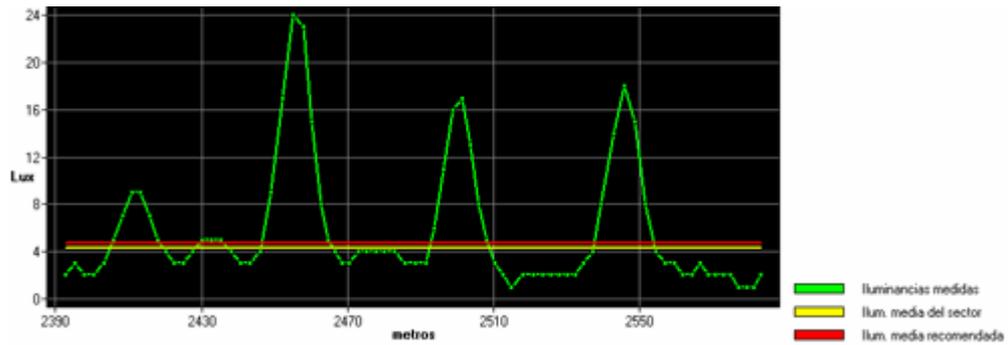


Gráfico de evolución de la iluminancia.

## Limitaciones del sistema.

A la hora de realizar mediciones de iluminancia existen una serie de factores que pueden condicionar las medidas y que por lo tanto que se deben valorar y tener en consideración a la hora de evaluarlas. Dichos factores pueden ser internos al sistema, como las limitaciones derivadas de las características de la metodología de medición o bien externos a él (e implícitos en cualquier forma de medición) como pueden ser factores de visibilidad (orto y ocaso) o regimenes de ahorro energético.

El sistema *VIALLUM*, por el hecho de estar integrado en un vehículo, tiene un conjunto de limitaciones que se resumen en las siguientes:

- *La posición de la célula luxométrica:*

La célula luxométrica se sitúa sobre el techo del vehículo, completamente horizontal y de manera que no le afecte sombras o iluminación del propio u otros vehículos. Por lo tanto hay que tener en consideración que las medidas de iluminancias están realizadas en un plano horizontal que se encuentra a una altura determinada sobre el suelo, cuando generalmente al hablar de iluminancias, iluminancias medias y uniformidades éstas están referidas a nivel del suelo.

- *Características de tráfico y recorrido:*

El hecho de estar montado el sistema sobre un vehículo y de tomar medidas en movimiento implica que el vehículo esta sujeto al cumplimiento de las normas de circulación y a unas limitaciones de recorrido del vehículo.



La primera limitación es sobre las zonas por donde no puede circular. Existen zonas por donde el vehículo por normativa o por simple incapacidad no puede circular, por lo que el sistema no podrá obtener medidas de esas zonas. Estas zonas pueden ser por ejemplo zonas peatonales, aceras o isletas.

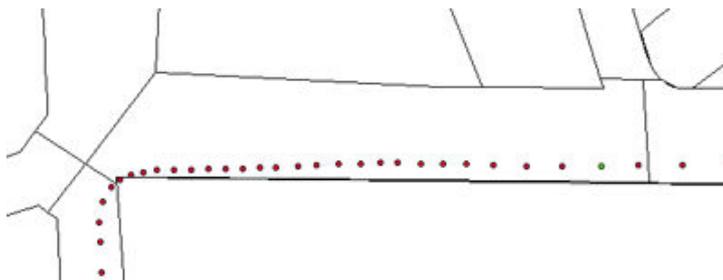
Una segunda limitación es la que tiene que ver con el empleo de un GPS. La cobertura de señal de GPS puede ser limitada o nula en determinadas zonas, como pueden ser túneles por ejemplo, impidiendo el poder situar las medidas de iluminancia en el mapa.

Otra limitación es la derivada de la velocidad del vehículo. La velocidad de circulación se encuentra comprometida entre una velocidad adecuada para la circulación por la vía y una velocidad adecuada para obtener una resolución deseada de medidas. A menor velocidad la resolución es mayor y por lo tanto más fiable el conjunto de las medidas y el error de posición también se reduce, pero existe la posibilidad de entorpecer el tráfico e incluso, dependiendo de la vía, constituir un peligro.

Además, es necesario considerar si las normas de circulación locales exigen el empleo de señalización adicional del vehículo según la velocidad de circulación establecida para las medidas (en el caso de señalización adicional, como balizas de reflector giratorio, la instalación debe vigilar las posibles interferencias con el sistema de medición de la iluminancia, por ejemplo colocando pantallas entre la baliza y la célula luxométrica).

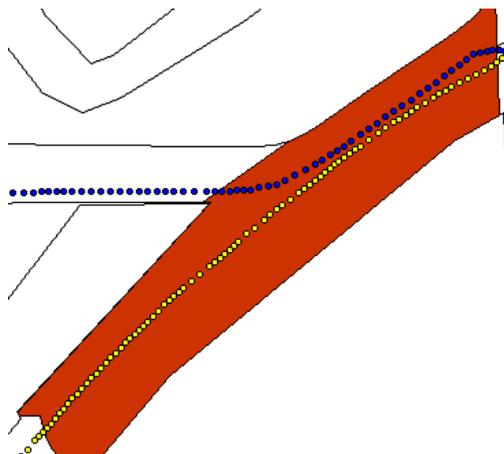
Otro factor a tener cuenta es la uniformidad, tanto de recorrido como de velocidad. Si en un mismo sector las velocidades son muy distintas, la densidad de las medidas será diferente, teniendo más peso en la media la zona de menor velocidad. El sistema *VIALLUM* soluciona parcialmente el problema eliminando medidas a velocidades bajas (mediante el valor *Distancia mínima* de la [configuración de VIALLUM-SIG](#)). El problema por lo tanto es a velocidades altas, donde no sobran medidas para eliminar, por lo que es aconsejable que la velocidad sea lo más uniforme posible y que la *Distancia mínima* sea acorde con la velocidad establecida.





*La media estará más influenciada por la parte izquierda al haber circulado más despacio (y por lo tanto haber más puntos de medida).*

También es necesario, a la hora de establecer comparaciones entre medidas, que el recorrido sea siempre el mismo. Si se pretende comparar las medidas de dos fechas, dependiendo del recorrido la comparación puede no tener ningún sentido, como se puede observar en la siguiente figura.



*El recorrido azul sólo recorre una parte del sector, por lo que las iluminancias medias del sector rojo medidas con los dos recorridos no son comparables.*

Todas esta serie de limitaciones y de factores que se deben de tener en cuenta a la hora de medir y evaluar hace del sistema VIALLUM una herramienta eminentemente de carácter comparativo, es decir, permite establecer conclusiones a partir de la comparación de medidas realizadas con el mismo sistema y con las mismas condiciones de posición de la célula, recorrido y velocidades. Comparar con otra clase de valores, como pueden ser iluminancias medias o uniformidades medias de organismos como el CIE o normativas locales puede conducir a conclusiones erróneas puesto que dichos valores suelen referirse a la altura a nivel del suelo y pueden incluir áreas que el sistema no puede medir como son las aceras (la iluminancia medida sobre la vía no es representativa de toda la calle, sólo de la zona por la que se circula).

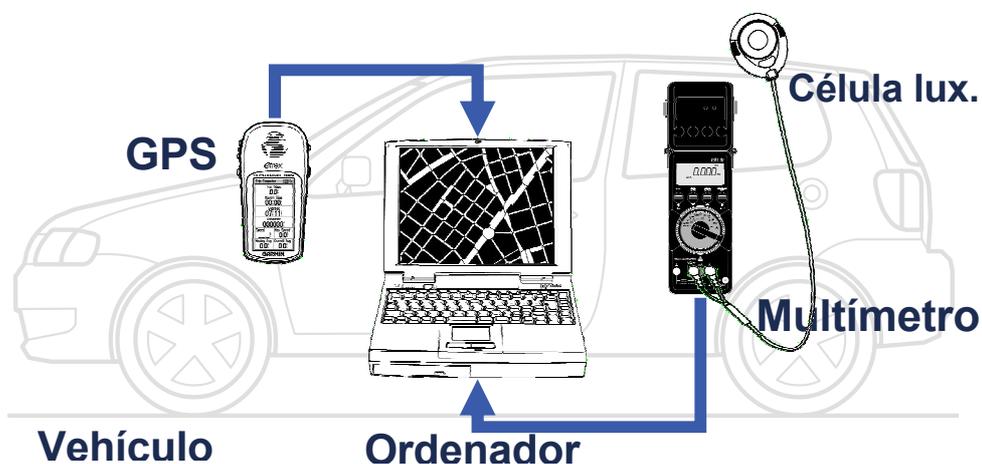


Para minimizar el efecto de los factores anteriormente citados conviene establecer una metodología de trabajo que sea aplicada en todas las medidas, para poder valorar mejor las comparaciones entre medidas.

## D.2. VIALLUM-Movil

### Funcionamiento básico de *VIALLUM-Movil*

*VIALLUM-Movil* es el sistema encargado de la recolección de datos de iluminancia. Los elementos que lo conforman son una unidad GPS, un conjunto de célula luxométrica y multímetro, y un ordenador para procesar y almacenar los datos.



El funcionamiento del sistema es relativamente simple: mientras el coche va circulando por la zona que se desea estudiar, el ordenador almacena las medidas de posición (coordenadas geográficas proporcionadas por el GPS) y las de iluminancia (lux proporcionadas por el multímetro-célula). El resultado final es un fichero de salida, con extensión *.dat*, que será introducido en *VIALLUM-SIG* como una capa de datos.

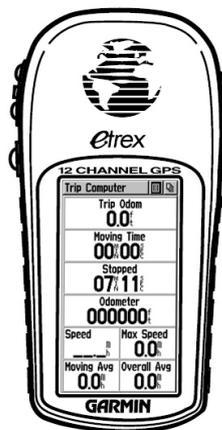
El software proporciona además otras funcionalidades para facilitar la toma de medidas, como el uso de mapas para la visualización de calles, zonas a estudiar, posición y recorrido del vehículo, o la presencia de alarmas de aviso de exceso/defecto de velocidad y de pérdida de señal de GPS.

### Requerimientos de VIALLUM-Movil

Los componentes del sistema (además del vehículo y el software) y sus características son los siguientes:



- *Ordenador portátil (requerimientos mínimos):*
  - Procesador x86 a 1000 MHz o superior.
  - Microsoft® Windows® 2000 / XP
  - 256 MB RAM
  - 50 MB de espacio en disco duro
  - 2 puertos USB 1.1-2.0, o bien 2 puertos serie, o puerto serie+USB.
  - Pantalla con una resolución igual o mayor que 1024 x 768.
- *Unidad GPS: Modelo Garmin® eTrex Vista® .*

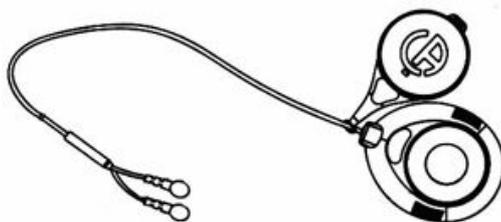


- *Multímetro digital: Modelo Metra Hit 29S de GMC Instruments Group con el adaptador a puerto serie BD232 del mismo fabricante.*



- *Célula luxométrica: Modelo Chauvin Arnoux C.A. 808.*





- *Soportes varios:*
  - Para el GPS (de ventosa para el parabrisas).
  - Para el ordenador portátil, para fijarlo en el asiento del acompañante.
  - Para la célula luxométrica. Dependiendo del modelo de vehículo, barra portaequipajes (fijada con tornillo a la rosca de la parte posterior de la célula) o bien directamente sobre el techo mediante lámina adhesiva en la célula con banda magnética.
- *Cables varios:*
  - Cable de datos Garmin eTrex-PC serie.
  - Cable serie transparente db9 M-H (para multímetro).

Dependiendo de las circunstancias se pueden requerir otros elementos:

- *Cartografía de la zona a estudiar:* No es necesaria para obtener las medidas, pero su uso facilita el proceso en el sentido en que se visualizan las medidas sobre la cartografía. En coordenadas U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*) y datums *WGS84* o *European 1950*. En formato *ESRI Shapefile* (tres archivos con extensiones *.shp*, *.shx* y *.dbf*), con polígonos cerrados que representen los sectores de vías urbanas que se deseen estudiar. Los campos de la tabla de polígonos serán (nombre, tipo, valor por defecto):
  - ID, entero, (un valor diferente para cada polígono).
  - CALLE, cadena caracteres, (vacía).
  - LUX, entero, -1.
  - LUXREC, entero, 0.
  - L-LR, entero, -100.
  - UNIFMED, coma flotante con 3 decimales, -1.
  - DIFANT, entero, -1000.
  - NPUNTOS, entero, -1.
  - SELRUT, entero, 0.



- TIPOC, cadena caracteres, (vacía).
- MINLUX, entero, -1.

Ver [significado de cada campo](#).

- Actualmente algunos vehículos equipan unos parabrisas "antitérmicos" que están cubiertos por un revestimiento metálico para reducir el paso de calor a través del cristal. Dicho revestimiento dificulta también el paso de la señal del GPS. Para solventar el problema existen en el mercado dispositivos llamados *antenas re-radiantes*, específicamente diseñados para conducir la señal al interior (a modo de *bypass*).
- Tanto el GPS como el multímetro se comunican con el ordenador a través de puertos serie, por lo que haría falta un ordenador portátil con dos puertos serie. El puerto serie, por sus características, está en desuso, pero que debido al gran número de dispositivos existentes todavía se emplea. Los portátiles actuales generalmente carecen de puertos serie, mientras que suelen contar con un buen número de puertos USB. Existen en el mercado adaptadores USB-serie, con los cuales se puede convertir un puerto USB a puerto serie, de forma que se necesitaran dos adaptadores si el ordenador no dispone de ningún puerto serie, uno si tiene un puerto serie, o ninguno si el portátil ya dispone de dos puertos serie.
- Dependiendo de la duración y frecuencia y de las tomas de medidas puede ser aconsejable alimentar los dispositivos a partir de la toma de 12V del vehículo en lugar de depender de las baterías de cada dispositivo. GPS y ordenador (que tienen una duración de baterías inferiores) poseen accesorios para ser alimentados desde una toma de 12V y en el caso de querer alimentar ambos desde una única toma también existen "*duplicadores*" que proporcionan dos tomas de corriente a partir de una.

## Instalación del *software* de *VIALLUM-Movil*

Para instalar el *software* *VIALLUM-Movil* se ha de ejecutar el programa *Setup\_VIALLUM-Movil.exe* y seguir las instrucciones en pantalla. Una vez terminada la instalación y antes de ejecutar el programa es necesario [instalar el hardware](#) y [configurar el programa](#) adecuadamente.



## Instalación y configuración del *hardware* de *VIALLUM-Movil*

Una vez instalado el software, se procede al montaje del sistema en el vehículo y a la conexión de todos los dispositivos. Para ello se montan los diversos dispositivos en sus respectivos soportes y se les conecta la fuente de alimentación (si la requieren). Luego se conecta la célula al multímetro, y este último y el *GPS* se conectan al ordenador (empleando convertidores de USB a puerto serie si se requieren).

Una vez instalados se comprueba la configuración de cada dispositivo:

- *GPS*: Debe estar configurado para extraer los datos por el puerto serie, a 9600 *baudios* y en formato *NMEA 0183*. También debe estar configurado el *datum* de manera que éste y el de las cartografías empleadas coincida (el programa soporta los *datums WGS84* y *EUROPEAN 1950*). Para más información de como configurar el *GPS* consultar el manual del dispositivo.
- *Multímetro*: Debe estar configurado para extraer los datos por el puerto serie, a 19200 *baudios* y a intervalos de 0.2/0.5/1 segundos entre medidas (dependiendo de la resolución que se desee obtener según la velocidad). El dial deberá estar en la posición para medir diferencias de potencial (V) de corriente continua. Para más información consultar el manual de usuario del multímetro.
- *Ordenador*: Se ajusta mediante la utilidad de configuración de *VIALLUM-Movil* (consultar [configuración de VIALLUM-Movil](#)). Los valores críticos para el funcionamiento y validez de los datos son principalmente los *puertos COM* (emplear el asistente en el caso de no distinguir los puertos), el *datum* (que debe coincidir con la cartografía y el *GPS*) y el huso (correspondiente a la zona de trabajo y necesario para los cálculos).

## Configuración de *VIALLUM-Movil*

Para acceder a la configuración de *VIALLUM-Movil* se ha de pulsar el botón *Opciones* de la pantalla de inicio de *VIALLUM-Movil*.



En la ventana de configuración se encuentran los siguientes campos:

- *Dispositivos y puertos*: Configuración del hardware.
  - *G.P.S.* : El puerto serie (o puerto *COM*) al que está conectada la unidad *GPS*. Es necesario que haya algún puerto seleccionado para el correcto funcionamiento.
  - *Multímetro*: El puerto al que está conectado el multímetro, y que, lógicamente, debe ser diferente al puerto al que está conectado el *GPS*.
  - *Asistente de autodetección*: Inicia un asistente para que el sistema detecte por sí mismo los puertos a los que están conectados los dispositivos.
  - *Altura del vehículo*: Indica al sistema la altura a la que va colocada a la célula luxométrica.
- *Cartografía*: Configuración relativa a la cartografía empleada.
  - *Comprobar datum GPS*: El programa verifica si los datos recibidos son de un datum específico, y si no lo son avisa al usuario. El sistema está limitado a trabajar con datums *European 1950* y *WGS84*.
  - *Huso principal*: El sistema trabaja con coordenadas en formato U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*). Para realizar correctamente los cálculos es



necesario indicar el huso principal o zona (definido por el meridiano central de referencia).

- *Alarmas*: Configuración de avisos sonoros de advertencia del programa. Permite activar las diferentes alarmas y seleccionar el sonido que emite cada una de ellas.
  - *Alarma de cobertura del GPS*: Avisa del momento en que se dejan de recibir datos de posición y del momento en que se vuelve a recuperar la señal del *GPS*.
  - *Alarmas de velocidad*: Avisa si la velocidad es superior o inferior a unos límites establecidos, de forma que el ayude al conductor a mantener una velocidad más constante.
- *Directorios de trabajo*: Establece los directorios de trabajo por defecto del programa, es decir, la carpeta donde se guardarán y buscarán archivos de mapas o de captura de datos.

## Consideraciones previas a la toma de medidas

Debido a las [limitaciones del sistema](#) y a las características propias de cada zona que se desea estudiar, es necesario que antes de realizar las medidas se consideren algunos factores, se establezcan criterios y metodologías de trabajo para asegurar la uniformidad y validez de los valores medidos y poder compararlos correctamente. Una vez establecida la metodología esta se debe mantener en las siguientes sesiones de medidas. Los principales factores a tener en cuenta y los criterios que se pueden establecer son:

- *Horarios*: Si a partir de cierta hora existe reducción de potencia (se ilumina menos por que es menos necesario y así el ahorro es mayor), convendría establecer unos horarios, ya que en una misma noche la misma zona puede estar iluminada de dos maneras completamente distintas. Así pues, por ejemplo, si se desean hacer comparaciones entre niveles de iluminación de diferentes calles, se debería considerar si ambas medidas fueron realizadas en el mismo horario, ya sea normal o de potencia reducida. Un criterio adecuado podría ser el de realizar siempre las medidas en un mismo horario, dentro del horario normal o reducido. El horario también debe considerar el tiempo que necesitan algunos tipos de lámparas para estabilizar su flujo, que en algunos casos puede llegar a los 20 minutos, de forma que si se mide antes de que se estabilicen los valores obtenidos no serían



representativos del funcionamiento normal.

- *Recorrido*: Como se comenta en [Limitaciones](#), la forma de recorrer un sector afecta a la medida de iluminancia media, por lo que es necesario recorrer de la misma manera siempre si se desean comparar medidas en un sector. El sentido y el carril por el que se circula también pueden influenciar el resultado y dificultar la comparación. Por lo tanto, no sólo debería establecerse un recorrido "estándar" sino que también deberían definirse criterios para medir un sector, es decir, si la calle tiene dos sentidos se recorrerán ambos sentidos (o se recorre un sentido sólo, pero siempre el mismo sentido), o si la calle tiene diversos carriles para un mismo sentido se recorren todos los carriles (o solamente el carril central si hay tres, o el carril derecho si hay dos, o solo el carril más próximo a los puntos de luz en una distribución unilateral, por poner ejemplos).
- *Velocidad-Frecuencia de medidas de iluminancia*: Se debe establecer una velocidad de circulación para las medidas, acorde siempre con la zona y sus características de tráfico así como la resolución deseada, y emplearla siempre en las sucesivas tomas de medidas de la zona de la forma más uniformemente posible. De la misma manera y acorde a la velocidad se debe escoger una frecuencia de datos del multímetro. Por ejemplo: partiendo de que 25 km/h ( 7 m/s aproximadamente) es una velocidad baja pero perfectamente asumible para una circulación correcta en tramos urbanos, considerando el multímetro proporcionando medidas cada 0.2 , 0.5 o 1 segundos, implicaría una gama de resoluciones de 1.4 , 3.5 y 7 metros entre medidas. De forma que ajustando velocidad y frecuencia se puede obtener la distancia entre medidas deseada. Si bien la uniformidad de la velocidad no se puede garantizar, que por las condiciones de tráfico variará, en el caso de velocidades inferiores (por lo tanto interdistancias pequeñas) el sistema puede eliminar medidas para garantizar una interdistancia mínima (ver [Configuración VIALUM-SIG](#)), que deberá ser establecida a partir de las velocidades empleadas.
- *Estado y circunstancias de la instalación*: Las circunstancias puntuales de las instalaciones de alumbrado pueden conducir a situaciones transitorias poco representativas del funcionamiento habitual de éstas. Un ejemplo de ello puede ser el estudio de una calle para comparar las prestaciones antes y después de un recambio masivo, según el tipo de lámparas, éstas pueden necesitar cierto número de horas de funcionamiento acumulado para estabilizarse su flujo (independientemente del tiempo de estabilización después del encendido). Por lo

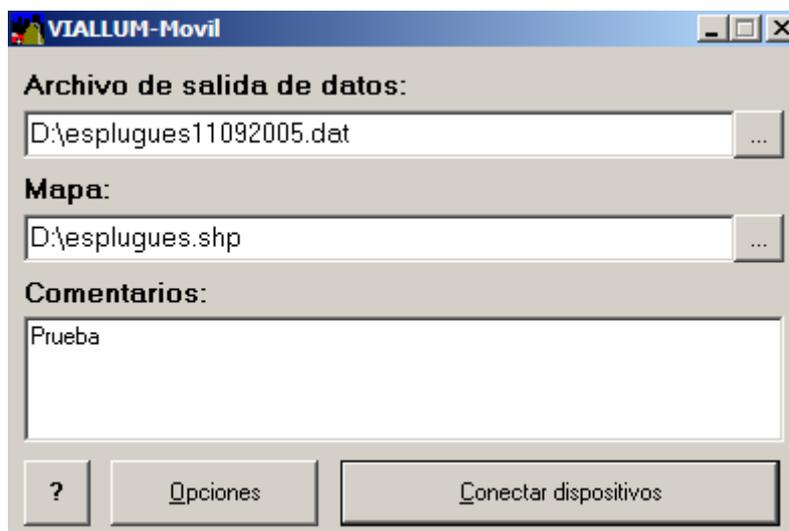


tanto antes de las mediciones, en la elaboración del recorrido a realizar deberán considerarse los factores que pueden incidir puntualmente en las mediciones y que haga que diverjan del comportamiento de otra manera habitual, e indicarlás en el caso de que no se puedan corregir o evitar.

Con dichos criterios se asegura una mayor validez de las comparativas entre medidas, ya sea entre sectores distintos o en un mismo sector al comparar dos tomas de datos diferentes, así como una menor variabilidad de las medidas.

## Captura de datos

### Pantalla de inicio



Se obtiene al ejecutar el programa *VIALUM-Movil*:

- Icono *VIALUM-Movil* sobre el escritorio (si existe).
- Inicio ⇒ Programas ⇒ *VIALUM* ⇒ *VIALUM-Movil*.

... o bien desde el programa *VIALUM-SIG* (si también se ha instalado junto a *VIALUM-Movil*):

- Botón  de la barra de herramientas.
- Menú principal: *Archivo* → *Nuevo* → *Captura*.

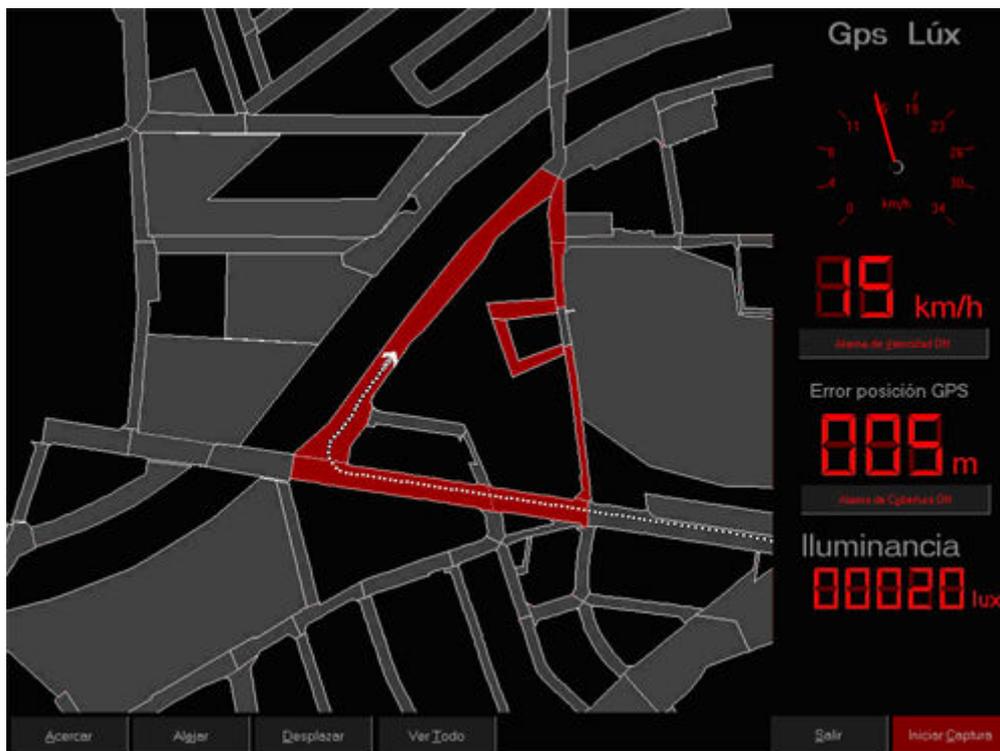


En esta pantalla se introducen datos relativos a la captura de medidas, se accede a la configuración y se inicia la captura de medidas.

- *Archivo de salida de datos* : Indica el archivo de salida de datos. Automáticamente se genera un archivo basado en el directorio de la configuración con un nombre basado en la hora y la fecha. Pulsando el botón a la derecha (...) se puede seleccionar otra localización y otro nombre. Es necesario que el campo esté relleno para poder iniciar las capturas.
- *Mapa* : Indica el mapa empleado para la visualización de las capturas. Si no se indica, el programa se iniciará sin visualizar ninguna mapa, solamente las medidas que se van realizando.
- *Comentarios* : Espacio para escribir comentarios específicos acerca de la captura que se va a realizar, por ejemplo sobre condiciones especiales de captura, finalidad de la captura de datos, etc.
- Botón *?* : Muestra este manual.
- Botón *Opciones* : Muestra la ventana de [configuración de VIALUM-Movil](#).
- Botón *Conectar dispositivos* : El sistema empieza a recibir datos de los dispositivos. Muestra la [pantalla de captura de datos](#), donde se visualizan los datos recibidos y se procede a iniciar la captura.



## Pantalla de captura de datos



- **Mapa** : En el se representa la posición del posición y dirección del vehículo (flecha blanca en el centro) y el recorrido seguido (puntos blancos). Si en la pantalla de inicio se ha indicado un mapa este aparece en pantalla, con los sectores de color gris, y los sectores seleccionados en *VIALLUM-SIG* de color rojo (ver [preparación de próximas capturas](#)).
- **Controles del mapa** : Sirven para modificar la visualización del mapa.
  - **Acercar** : Obtiene una vista más próxima que la actual.
  - **Alejar** : Obtiene una vista más lejana que la actual.
  - **Desplazar** : Sirve para desplazar el mapa al pulsar y arrastrar el puntero sobre el mapa. Obsérvese, que mientras esté marcado el botón el mapa no se centrará automáticamente en la posición actual.
  - **Ver Todo** : Se aleja hasta poder observar todo el mapa.



- Botón Salir : Termina la ejecución del programa. Si hay una captura en marcha la detiene y guarda automáticamente.
- Botón Inicio Captura / Detener Captura / Continuar Captura : Al pulsarlo inicia, pausa o reanuda el almacenamiento de los datos recibidos. El color del botón indica el estado en que está, es decir si el botón es de color rojo indica que los datos no se están guardando, mientras que si es de color verde si que se están guardando. Pulsar la barra espaciadora del teclado equivale a pulsar este botón.
- Panel de visualización: Proporciona información sobre la velocidad del vehículo, error de posición y valores de iluminancia medidos. En el se encuentran además los botones de las alarmas:
- *Alarma de Velocidad ON / Alarma de Velocidad OFF*: Activa desactiva la alarma de control de velocidad, que avisa cuando se circula a una velocidad superior o inferior a las indicadas en la ventana de configuración.
- *Alarma de Cobertura ON / Alarma de Cobertura OFF*: Activa o desactiva la alarma de cobertura de señal de GPS, de forma que emite un sonido al perder y al recuperar la señal.

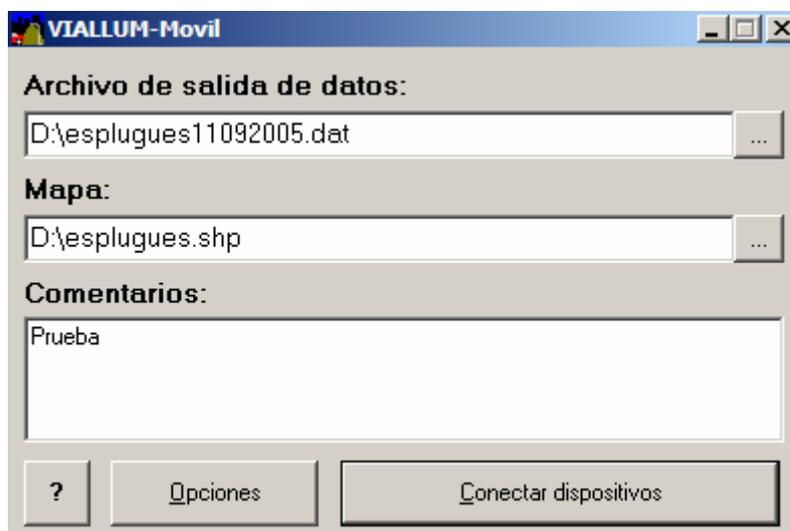
## Ejemplo guiado I

A continuación se muestra un ejemplo del proceso seguido para la toma de capturas, en el se ha considerado una situación en que ya se han hecho medidas anteriormente, por lo que el software ha estado configurado y se han tenido en cuenta las [consideraciones previas](#) a la toma de datos , según las cuales se ha determinado el recorrido (zonas a estudiar, por ejemplo un carril de cada sentido, el de más a la izquierda si hay más de uno) y velocidad de referencia (15 km/h obtenida de una resolución de 2 metros y medidas cada 0.5 segundos aproximadamente).

1. - En las proximidades de la zona a estudiar (a ser posible con la mayor visibilidad del cielo posible, para facilitar el arranque del *GPS*) se instala todo el equipo en el vehículo, conectando todos los dispositivos (ver [Instalación hardware](#)).



2. - Se ejecuta el programa *VIALLUM-Movil* y se pulsa el botón *Opciones*. [[Pantalla de inicio](#)]
3. - Se pulsa el botón *Asistente de autodetección* realizando las instrucciones indicadas. El resto de los datos se dejan tal cual si las condiciones son las mismas que en experimentos anteriores. Se apagan *GPS* y multímetro hasta que no se vayan a comenzar las medidas (ver [Configuración de VIALLUM-Movil](#)).
4. - Se pulsa *Guardar* para volver a la pantalla de inicio de *VIALLUM-Movil*. Se introduce el nombre del archivo de salida y el mapa (escribiéndolo o bien pulsando el botón y buscando el directorio), y se introducen comentarios si se desea.



5. - Se encienden *GPS* y multímetro. Se pulsa *Conectar dispositivos* y aparece la pantalla de captura de datos.
6. - Se verifica la recepción adecuada de los datos, comprobando que aparezca una flecha en el centro del mapa indicando la posición actual del vehículo y que se pueda leer un valor de iluminancia en pantalla. Se esperan cinco minutos con el vehículo parado para dar tiempo a que el GPS reciba señal de suficientes satélites y para que la célula se adapte a los niveles que va a medir. [[Pantalla de captura de datos](#)]
7. - Una vez todo esta correctamente conectado y funcionando el vehículo puede ponerse en marcha y se puede dar inicio a la captura pulsando el botón *Inicio Captura* (o bien pulsando la barra espaciadora del teclado).



8. - Se circula por los sectores que se desean estudiar, con el recorrido y velocidad establecidos cumpliendo las normas de circulación y siguiendo la metodología elegida.

9. - Una vez recorrida la zona a estudiar, se para de almacenar medidas pulsando *Detener Captura* y se dirige el vehículo a un lugar donde desmontar los dispositivos sin entorpecer el tráfico.

10. - Posteriormente se transfiere el archivo de captura de datos (*esplugues11062005.dat*) al ordenador donde se procesan y guardan todas las medidas con el programa *VIALLUM-SIG*.

## Resolución de problemas

- No se reciben datos del GPS:
  - Ejecute en la [configuración de VIALLUM-Movil](#) el asistente de autodetección de los dispositivos.
  - Verifique que los cables están correctamente conectados, el GPS encendido y correctamente alimentado (pilas no agotadas o conectado a la toma de 12V del vehículo).
  - Verifique la configuración del GPS. Ver [Instalación hardware VIALLUM-Movil](#).
  - Si utiliza conversores USB-Serie y el GPS está encendido antes de iniciar el programa, se ha detectado que en ocasiones el sistema reconoce el GPS como un ratón no permitiendo su funcionamiento correcto. En esta situación se ha de apagar el GPS y reiniciar el ordenador. Para evitarlo en futuras ocasiones, el GPS debería encenderse justo antes de pulsar el botón *Conectar dispositivos*.
- No se reciben datos del multímetro, o éstos no tienen sentido:
  - Ejecute en la [configuración de VIALLUM-Movil](#) el asistente de autodetección de los dispositivos.
  - Verifique que los cables están correctamente conectados, el multímetro encendido y correctamente alimentado (pilas no agotadas).



- Verifique la configuración del multímetro: el dial en V continua, salida de datos por puerto serie a 19200 baudios y a intervalos de 0.2, 0.5 o 1 s (el multímetro es capaz de dar otros intervalos pero no se asegura el funcionamiento). Ver [Instalación hardware VIALLUM-Movil](#).
- El vehículo no aparece correctamente posicionado en el mapa:
  - Compruebe mediante el error de posición del GPS si esto se puede deber a una mala recepción de señal del GPS.
  - Compruebe que el datum del GPS es el mismo que el de la cartografía, y que el huso de la [configuración de VIALLUM-Movil](#) es el correcto.

### D.3. VIALLUM-SIG

#### Funcionamiento básico de VIALLUM-SIG

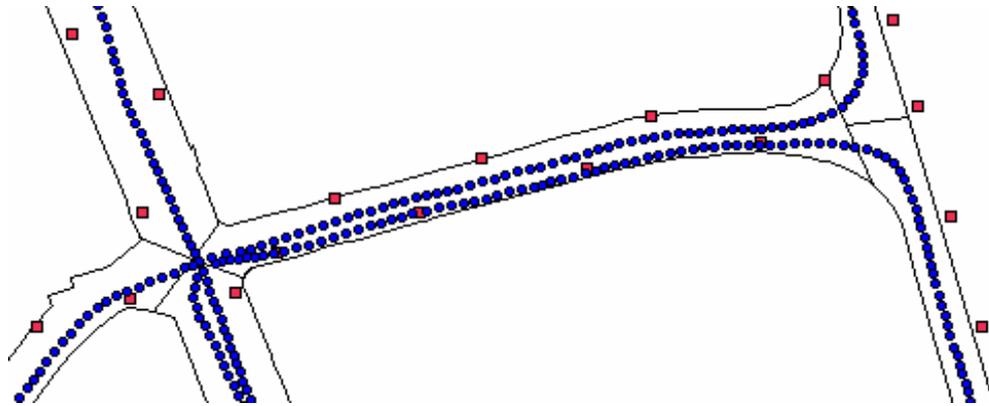
*VIALLUM-SIG* es el sistema encargado de la procesar, visualizar y almacenar los datos medidos por *VIALLUM-Movil*.

El programa trata con los datos en forma de capas, la forma habitual en SIG's (Sistemas de información geográfica). *VIALLUM-SIG* trabaja con capas en formato *Shapefile* (.shp), y según el tipo de datos que contengan se pueden clasificar en tres tipos:

- *Capas de sectores*: Son polígonos cerrados que contienen las áreas que se desean estudiar. Sobre ellos se representarán los diferentes mapas. La tabla de datos de cada capa de sectores debe cumplir con las especificaciones indicadas en Requerimientos del sistema.
- *Capas de información adicional*: Pueden representar cualquier cosa, y no intervienen en cálculos, sólo aportan información visual adicional al mapa, como podrían ser los nombres de calles, posición de luminarias, etc.
- *Capas de datos*: Son puntos representando las medidas de iluminancia, y que se



obtienen después de procesar el fichero .dat proporcionado por *VIALLUM-Movil* tras la captura de medidas.



*Ejemplo de diferentes capas: En negro una capa de sectores, en azul una de datos y en rojo una de información adicional (posición de puntos de luz).*

Todas las capas se agrupan alrededor de un fichero con extensión .prl, llamado proyecto, que sirve de índice de capas y que además guarda información adicional.

Una vez se tienen las capas de sectores y las capas de datos el funcionamiento del programa es simple: para cada polígono de cada capa de sectores el programa busca las medidas de iluminancias de las capas de datos que se han realizado en su interior, y a partir de éstas medidas calcula valores como la iluminancia media y la uniformidad media del sector (a lo que se llama *procesado*). Estos datos, con valor por sí mismos, y también combinados con otros datos incluidos en las capas de sectores (como valores de iluminancia media recomendados o valores de medidas anteriores), se visualizan en pantalla en forma de mapa, pudiendo tener diferentes temáticas:

- Mapa de valores de iluminancia media recomendada (valores de referencia).
- Mapa de valores de iluminancia media medidos.
- Mapa de diferencia entre iluminancias medias medidas e iluminancias medias recomendadas (para visualizar rápidamente que sectores se ajustan a los valores de referencia).
- Mapa de diferencia entre dos medidas de iluminancias medias (permite la comparación de dos situaciones de iluminación).



- Mapa de valores de uniformidad media medida.

Además de mapas, el programa puede realizar listados, totales o personalizados, con los valores calculados, en formato .csv para poder ser tratados si se desea con otras herramientas, como pueden ser hojas de cálculo.

El programa también proporciona herramientas para el estudio de zonas particulares, como pueden ser los gráficos de evolución de la iluminancia o la utilización de sectores virtuales, funciones descritas en [gráficos de evolución](#) y en el [estudio de zonas particulares](#) del ejemplo guiado II.

## Requerimientos de VIALLUM-SIG

Los componentes del sistema y sus características son los siguientes:

- *Ordenador portátil (requerimientos mínimos):* Necesario para ejecutar el software.
  - Procesador x86 a 1000 MHz o superior.
  - Microsoft® Windows® 2000 / XP
  - 256 MB RAM
  - 30 MB espacio en disco duro
  - Lector de CD-ROM
  - 2 puertos USB 1.1, o bien 2 puertos serie, o puerto serie+USB.
  - Pantalla con una resolución igual o mayor que 1024 x 768.
- *Cartografía de la zona a estudiar:* En coordenadas U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*) y datums *WGS84* o *European 1950*. En formato *ESRI Shapefile* (tres archivos con extensiones *.shp*, *.shx* y *.dbf*), con polígonos cerrados que representen los sectores de vías urbanas que se deseen estudiar. Los campos de la tabla de polígonos serán (nombre, tipo, valor por defecto):
  - ID, entero, (un valor diferente para cada polígono).
  - CALLE, cadena caracteres, (vacía).
  - LUX, entero, -1.



- LUXREC, entero, 0.
- L-LR, entero, -100.
- UNIFMED, coma flotante con 3 decimales, -1.
- DIFANT, entero, -1000.
- NPUNTOS, entero, -1.
- SELRUT, entero, 0.
- TIPOC, cadena caracteres, (vacía).
- MINLUX, entero, -1.

Ver [significado de cada campo](#).

- *Archivos de medidas .dat*: Datos de las medidas proporcionados por el software VIALLUM-Movil.
- *Capas de información adicional (opcionales)*: En coordenadas U.T.M. (*Universal Transverse Mercator*) y datums *WGS84* o *European 1950* (el mismo que las demás capas). En formato *Shapefile* (tres archivos con extensiones *.shp*, *.shx* y *.dbf*). Sin limitación de tipo de elemento ni campos de la tabla asociada.

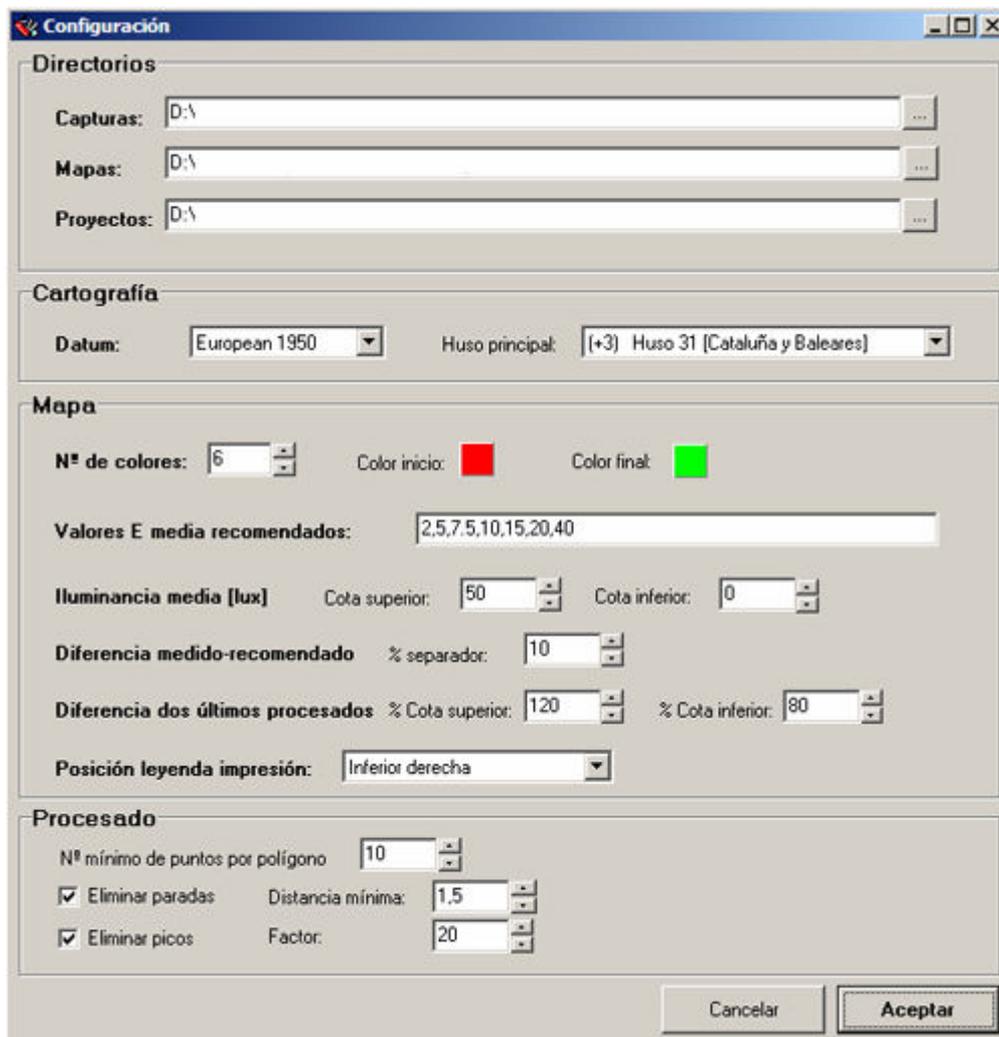
## Instalación de VIALLUM-SIG

Para instalar el *software VIALLUM-SIG* se ha de ejecutar el programa *Setup\_VIALLUM-SIG.exe* y seguir las instrucciones en pantalla. Una vez terminada la instalación se debería configurar el programa antes de introducir datos.

## Configuración de VIALLUM-SIG

Se puede acceder a la configuración de VIALLUM-SIG, una vez ejecutado el programa, pulsando el botón de la barra de herramientas de la pantalla principal, o bien mediante *Menú principal* → Configuración → Opciones generales.





- *Directorios*: Configura los directorios en que se encuentran por defecto los archivos de captura de datos, los mapas y los proyectos.
- *Cartografía*: Se indican datos relativos a la cartografía, necesarios para el procesamiento de los datos. El datum debería ser el mismo empleado por todas las capas, ya sean de de sectores o de datos (por lo que debería ser el mismo datum que se empleo a la hora de tomar las medidas). De forma similar también se ha de proceder con el huso empleado.
- *Mapa*: Contiene parámetros de configuración de la visualización del mapa, no sólo por pantalla, sino también a la hora de imprimirlo.
  - *Nº de colores*: Indica el número de divisiones en rango de colores de la leyenda del mapa. El *color inicial* y el *color final* indican los colores extremos entre los



cuales se extraerán los colores de los valores intermedios.

	Sin Medidas
	0 - 12.5 lux
	12.5 - 25 lux
	25 - 37.5 lux
	37.5 - 50 lux
	> 50 lux

*Leyenda para seis colores del rojo al verde.*

- **Valores *E media* recomendados:** Indican los posibles diferentes valores de iluminancia media de referencia, de forma que se pueda crear una leyenda a partir de dichos valores.
- **Iluminancia media:** Configura los valores extremos de la leyenda del mapa de valores de iluminancia media (valores absolutos), siendo la *cota inferior* el primer valor de corte de la leyenda y la *cota superior* el ultimo valor de corte.
- **Diferencia medido-recomendado:** Configura el tanto por ciento de diferencia empleado como corte en el mapa de diferencia de absolutos-recomendados (iluminancia media medida vs. iluminancia media de referencia). Es decir, si el valor es de un 10 %, se establecerá una leyenda con cinco regiones (más una de *sin datos*) que indiquen que la diferencia entre valor y medido y recomendado (respecto al recomendado) sea superior al 10%, superior entre el 0% y el 10%, igual, inferior entre el 0% y el 10% e inferior al 10%.

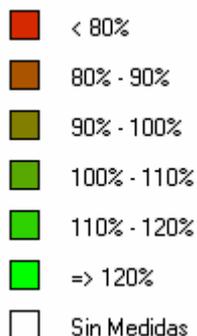
	Mayor, > 10 %
	Mayor, < 10 %
	= 0
	Menor, < 10 %
	Menor, > 10 %
	Sin Medidas

*Ejemplo de diferencia medido-recomendado tarado al 10 %*

- **Diferencia dos últimos procesados:** Similar al anterior, configura el tanto por

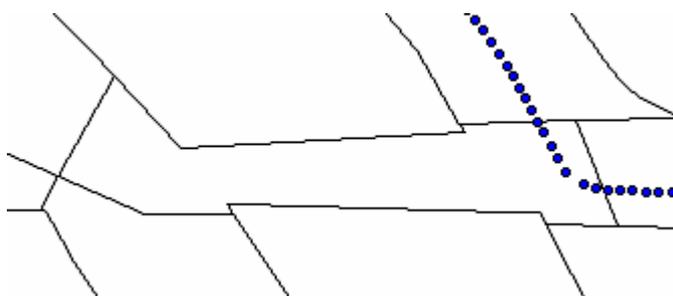


ciento superior e inferior de corte de las regiones establecidas en la leyenda para el mapa de diferencia dos últimos procesados.



Ejemplo de diferencia dos últimos procesados con 6 colores y tarado al 80% y 120%.

- *Posición leyenda impresión:* Define la posición de la leyenda a la hora de imprimir el mapa, siendo posibles los valores esquina superior izquierda, esquina superior derecha, esquina inferior izquierda y esquina inferior derecha.
- *Procesado:* Configura alguno de los parámetros empleados en el procesado de las capas.
  - *Nº mínimo de puntos por polígono:* Indica el número mínimo de medidas que debe tener un sector (o polígono) para que el valor de iluminancia media y de uniformidad sean considerados válidos. Sirve de utilidad para no procesar invasiones "accidentales" de sectores que no se deseen medir.

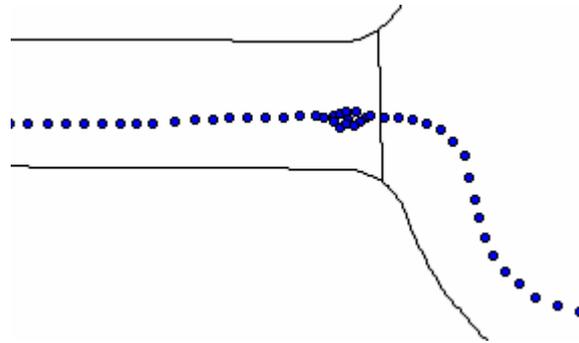


El recorrido entra puntualmente en el sector dejando 7 medidas, que no son representativas y que por lo no deberían contabilizarse.

- *Eliminar paradas:* Indica al sistema si se han de ignorar medidas que se encuentren a una distancia inferior al valor indicado por *Distancia mínima* de la



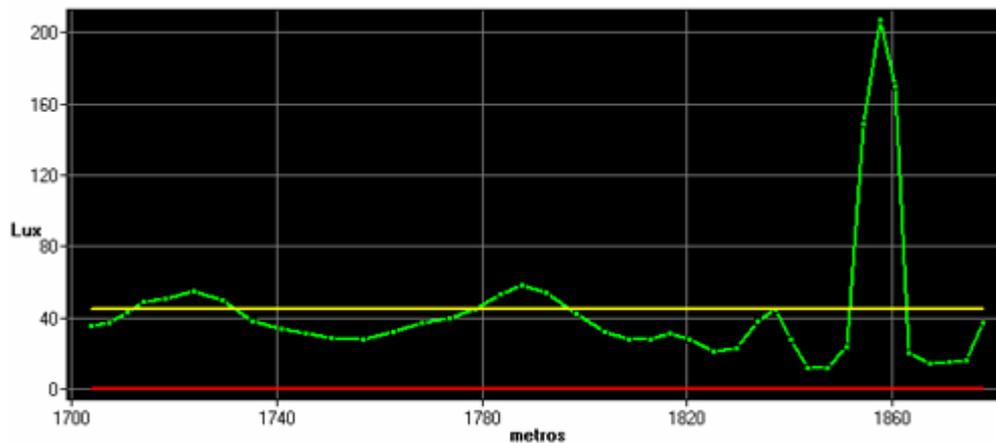
medida anterior. De esta forma se eliminan las paradas (la distancia entre medidas es nula o muy pequeña) y además se uniformizan la densidad de medidas, por ejemplo, si el vehículo no está detenido, pero circula muy despacio por un tramo, se asegura que no habrá más de una medida en una distancia marcada por la distancia mínima. Para el caso de velocidades altas se deberían tomar medidas independientes y aplicar un valor de *Distancia mínima* diferente para garantizar la uniformidad, considerando la distancia entre medidas a partir de la velocidad y frecuencia de captura elegidas. Por ejemplo, a 15 km/h y 0.5 segundos se toma una medida de iluminancia cada 2 m aproximadamente por lo que un buen valor para *Distancia mínima* sería 1.5 metros, de forma que se eliminarían medidas hasta garantizar que la distancia entre dos medidas consecutivas siempre es mayor que 1.5 metros.



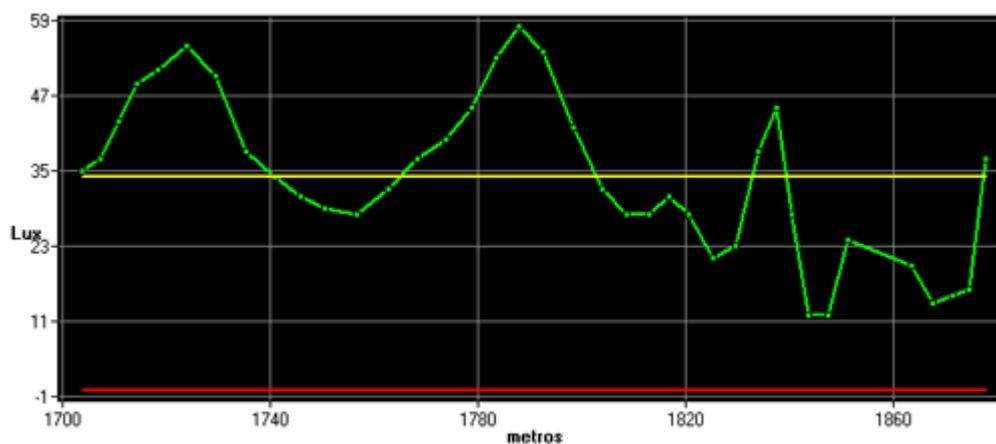
*Ejemplo de lo que sucedería sin eliminar las paradas. Aparece una mayor densidad de medidas en el semáforo donde el vehículo se para, alterando la media al haber más puntos de una zona.*

- **Eliminar picos:** En pruebas se ha detectado que en ocasiones se pueden medir valores extremadamente altos de iluminancia, no acordes con la realidad y que pueden desvirtuar las iluminancias medias de los sectores. Para ello el programa puede detectar dichos picos y eliminarlos, basándose en un valor, llamado *Factor*. El valor por defecto y recomendado a partir de las pruebas es 20. Valores más pequeños eliminarán picos más pequeños, mientras que con valores mayores sólo se eliminarán picos mayores. Con los siguientes gráficos de evolución se pueden observar los picos y evaluar su eliminación.





*Ejemplo de evolución en sector con Eliminar picos desactivado. La iluminancia llega a los 200 lux mientras que la media se queda en 45 lux.*

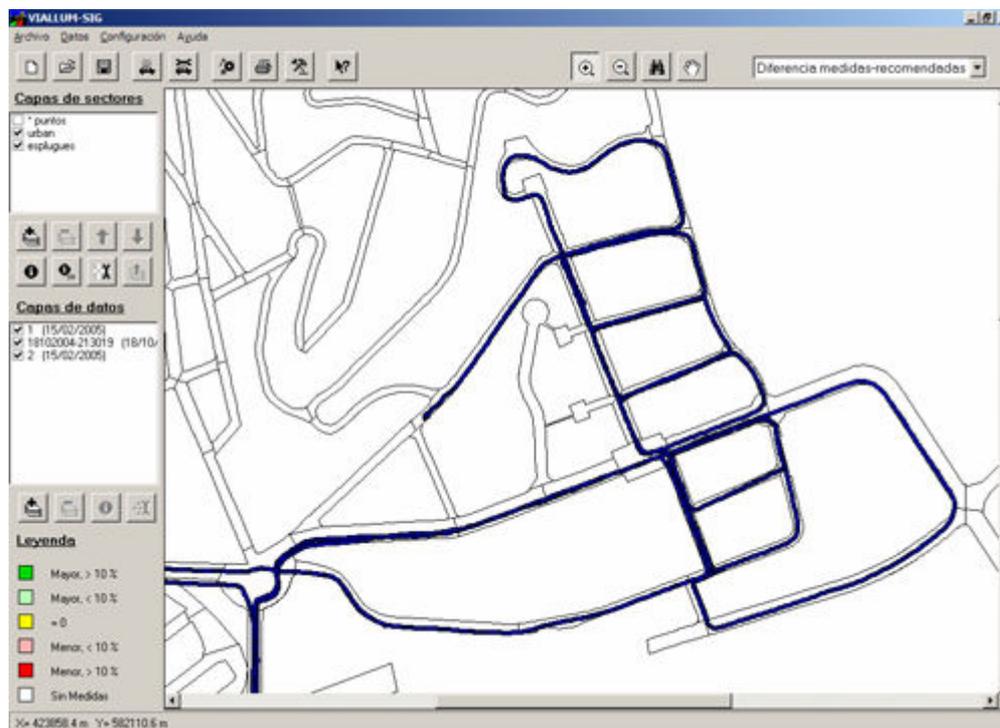


*Ejemplo anterior con Eliminar picos activado con valor 20. Se ha eliminado el pico y la nueva media es de 34 lux.*

## Procesado y visualización de datos



## Descripción general de la pantalla principal



Los elementos que componen la pantalla principal son:

- **Menú principal:** Contiene algunas de las opciones más frecuentes del programa.

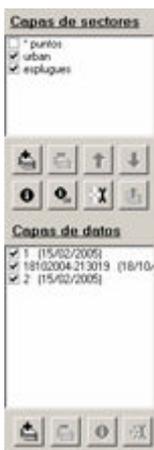
Archivo Datos Configuración Ayuda

- **Barra de herramientas:** En ella se hallan botones con las acciones más empleadas y también los controles del mapa.

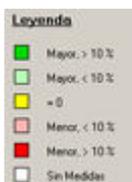


- **Mapa:** En el se muestran las capas, ya sean de sectores, de medidas o de información adicional.
- **Gestor de capas:** Proporciona herramientas para la visualización y edición de las diferentes capas.





- **Leyenda:** Muestra la información necesaria para interpretar el mapa y el significado de los colores.



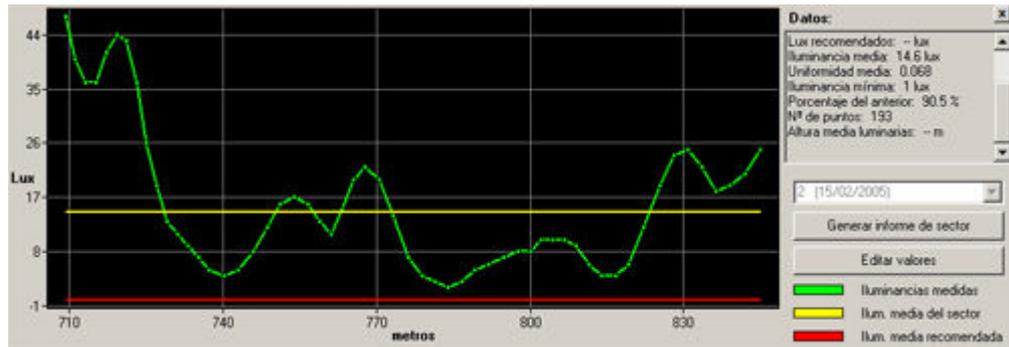
- **Barra de estado:** Muestra información adicional, como por ejemplo las coordenadas de posición del cursor sobre el mapa o el progreso del procesado de los datos.

X= 423858.4 m Y= 582110.6 m

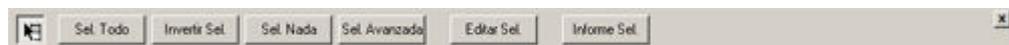
Dependiendo de las acciones que se realicen, pueden aparecer nuevos elementos en pantalla, como por ejemplo:

- **Gráfico de evolución de la iluminancia:** Aparece al pulsar algún botón de información de sector, información de sector virtual o de información de capa de datos. Muestra un gráfico de la evolución de la iluminancia a lo largo del recorrido por dicho sector o dicha capa de datos.





- [Barra de edición de capas de sectores](#): Muestra diferentes acciones para editar capas de sectores.



- [Barra de edición de capas de datos](#): Muestra diferentes acciones para editar capas de datos.



## Menú principal

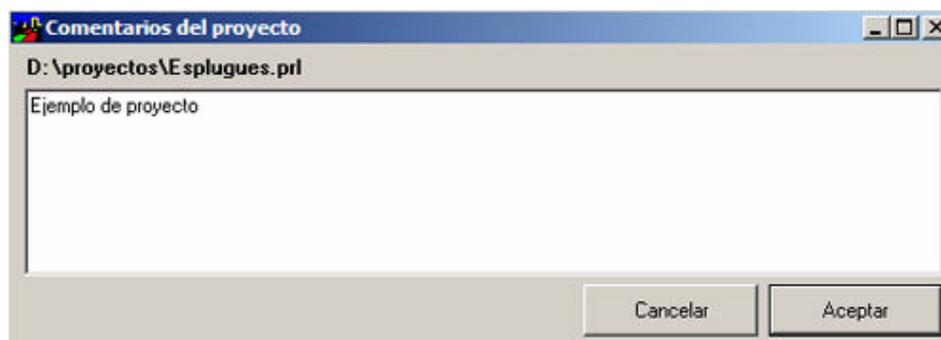
Archivo Datos Configuración Ayuda

- Archivo:
  - Nuevo → Proyecto: Crea un proyecto vacío para introducir nuevos datos.
  - Nuevo → Captura: Inicia el programa *VIALLUM-Movil* desde *VIALLUM-SIG* si éste se encuentra instalado en el mismo ordenador.
  - Abrir proyecto: Carga en memoria y en pantalla un proyecto creado anteriormente para poder modificarlo o añadir más datos.
  - Guardar: Registra de forma permanente los cambios realizados sobre el proyecto desde que se abrió.
  - Guardar como... : Guarda una copia del proyecto actual en el directorio que



se indique.

- **Borrar proyecto:** Borrar el proyecto que se indique. No se puede borrar el proyecto que se encuentre abierto.
- **Comentarios proyecto:** Muestra una ventana para visualizar y editar anotaciones del proyecto (como podrían ser descripciones de la zona, finalidad del estudio, etc.).



- **Exportar capa:** Crea en el directorio indicado una copia de la capa de sectores seleccionada. Puede ser útil para guardar versiones diferentes de mapas editados y para preparar próximas capturas (ver [ejemplo](#)).
- **Exportar mapa como... → .emf :** Guarda una imagen del mapa en formato vectorial *EMF (Enhanced windows MetaFile)*. Además del archivo *EMF*, se crea otra imagen, en formato *BMP*, con el mismo nombre que el *EMF* con la terminación *\_leyenda.bmp* en lugar de *.emf* que contiene un gráfico con la leyenda del mapa.
- **Exportar mapa como... → .bmp :** Guarda una imagen del mapa en formato *BMP (Windows Bitmap)*. De la misma manera que al exportar en formato *EMF*, se crea otra imagen, con la terminación *\_leyenda.bmp* que corresponde a la leyenda del mapa.
- **Configurar página :** Muestra la ventana de configuración de la impresora.
- **Imprimir mapa:** Imprime el mapa según la impresora y las opciones indicadas en *Configurar página*.
- **Salir:** Termina la ejecución del programa.

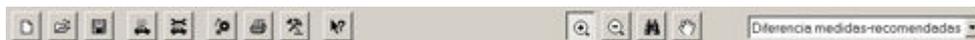


- Datos:
  - Procesar : Se actualizan todos los valores de iluminancia media y uniformidad de los sectores del proyecto. Al introducir nuevas medidas, nuevos sectores o al modificar estos es necesario volver a procesar los datos para garantizar que los valores mostrados están actualizados y acordes a los cambios introducidos. El procesado puede durar desde unos segundos hasta algunos minutos, dependiendo del volumen de datos del proyecto; el progreso del procesado es mostrado en la barra de estado.
  - Informes → Sectores seleccionados : Genera un archivo informe con extensión .csv (pudiéndose abrir con una hoja de cálculo para modificar y visualizar) con una tabla con los datos calculados de los sectores seleccionados (ver como seleccionar sectores en [edición de capas de sectores](#) y [preparación de próximas capturas](#)).
  - Informes → Sectores procesados : Genera un archivo informe con extensión .csv solamente de los sectores en los cuales se hallaron medidas.
  - Informes → Capas visibles : Genera un archivo informe con extensión .csv con todos los sectores visibles del mapa.
  - Informes → Todas capas : Genera un archivo informe con extensión .csv con todos los sectores, visibles o no.
- Configuración:
  - Opciones de captura : Muestra la ventana de [configuración de VIALLUM-Movil](#) en el caso de que éste también esté instalado.
  - Opciones generales : Muestra la ventana de [configuración de VIALLUM-SIG](#).
- Ayuda:
  - Ayuda : Muestra este archivo de ayuda.



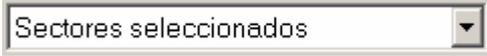
- Sobre VIALLUM-SIG : Muestra información sobre el programa y los autores.

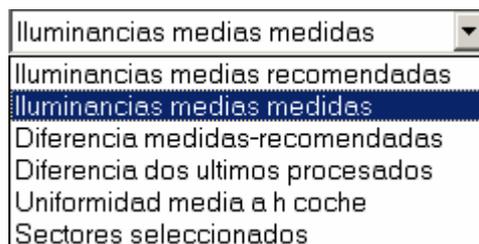
## Barra de herramientas



-  *Proyecto nuevo* : Crea un proyecto vacío para introducir nuevos datos.
-  *Abrir proyecto* : Carga en memoria y en pantalla un proyecto creado anteriormente para poder modificarlo o añadir más datos.
-  *Guardar* : Registra de forma permanente los cambios realizados sobre el proyecto desde que se abrió.
-  *Iniciar VIALLUM-Movil* : Inicia el programa *VIALLUM-Movil* desde *VIALLUM-SIG* si éste se encuentra instalado en el mismo ordenador.
-  *Configurar VIALLUM-Movil* : Muestra la ventana de [configuración de VIALLUM-Movil](#) en el caso de que éste también esté instalado.
-  *Procesar datos* : Se actualizan todos los valores de iluminancia media y uniformidad de los sectores del proyecto. Al introducir nuevas medidas, nuevos sectores o al modificar estos es necesario volver a procesar los datos para garantizar que los valores mostrados están actualizados y acordes a los cambios introducidos. El procesado puede durar desde unos segundos hasta algunos minutos, dependiendo del volumen de datos del proyecto; el progreso del procesado es mostrado en la barra de estado.
-  *Imprimir mapa* : Imprime el mapa según la impresora y las opciones indicadas en Archivo → *Configurar página* del menú principal.



-  *Configuración* : Muestra la ventana de [configuración de VIALUM-SIG](#).
-  *Ayuda* : Muestra este archivo de ayuda.
-  *Acercar* : Obtiene una vista del mapa más próxima que la actual. Puede operar de dos maneras: una haciendo clic (el mapa se centrará en dicho punto y se aproximará) o bien haciendo clic y arrastrando marcando un rectángulo (se ampliará la zona indicada por el rectángulo).
-  *Alejar* : Obtiene una vista más lejana que la actual.
-  *Ver todo* : Se aleja hasta poder observar todo el mapa.
-  *Desplazar* : Sirve para desplazar el mapa al pulsar y arrastrar el puntero sobre el mapa.
-  *Selector de tipo de mapa* : Selecciona y visualiza los diferentes tipos de mapas que VIALUM-SIG puede mostrar. El significado de los colores mostrados se interpreta mediante la leyenda situada en la esquina inferior izquierda de la pantalla principal.



- *Iluminancias medias recomendadas* : Muestra el mapa con los sectores coloreados según la escala de color de valores de referencia de iluminancia media introducida para cada sector.
- *Iluminancias medias medidas* : Muestra en el mapa los valores de iluminancia media de cada sector obtenidos de las medidas obtenidas con



*VIALLUM-Movil.*

- *Diferencia medidas-recomendadas* : Muestra mediante colores la magnitud de la diferencia entre valores de iluminancia media medidos y de referencia, siendo el valor de referencia de corte el indicado en la [configuración](#). El valor calculado es el tanto por ciento de la diferencia entre iluminancia media medida y recomendada respecto a la iluminancia recomendada, según la siguiente fórmula:

$$\% = 100 * ( E_{\text{medido}} - E_{\text{recomendado}} ) / E_{\text{recomendado}}$$

La leyenda se interpretaría así, con un valor de corte del 10 % en la configuración:

**Leyenda**

	Mayor, > 10 %
	Mayor, < 10 %
	= 0
	Menor, < 10 %
	Menor, > 10 %
	Sin Medidas

- *Mayor, >10%* : El valor de iluminancia media medida es mayor que el valor recomendado, y lo es en un tanto por ciento mayor que 10.
- *Mayor, <10%* : El valor de iluminancia media medida es mayor que el recomendado, pero lo es entre un 0 y un 10% mayor solamente.
- *=0* : El valor recomendado y el medido son iguales (0% de diferencia).
- *Menor, <10%* : El valor de iluminancia media medida es menor que el recomendado, pero lo es entre un 0 y un 10 % menor solamente.
- *Menor, >10%* : El valor de iluminancia media medida es menor que el valor recomendado con una diferencia superior al 10 %.
- *Sin medidas* : No se encontraron medidas en estos sectores, por lo



que no hay valores calculados.

Con este mapa se podría ver rápidamente que zonas están correctamente iluminadas, iluminadas excesivamente o insuficientemente.

- *Diferencia dos últimos procesados* : Muestra mediante colores la magnitud de la diferencia entre valores de iluminancia media entre dos procesados consecutivos, siendo los valores superiores e inferiores de corte, y el número de colores los indicados en la [configuración](#). El valor calculado es el tanto por ciento de la última iluminancia media medida procesada con respecto a la penúltima iluminancia media medida. Es decir, se aplica la fórmula  $\% = 100 * E_{\text{último procesado}} / E_{\text{penúltimo procesado}}$ . Este mapa permite comparar dos situaciones. Por ejemplo, se visualizan solamente las capas de datos justo antes de realizar una limpieza de luminarias, y se procesan los datos. Acto seguido se visualizan solamente las capas de datos con medidas posteriores a la limpieza y se vuelve a procesar. Con este mapa se podría visualizar la eficacia de la limpieza, e incluso que zonas se ven más afectadas por la suciedad, pudiendo establecer intervalos más frecuentes de limpieza para determinadas zonas.
- *Uniformidad a h coche* : Representa un mapa de los valores de uniformidad media medida, teniendo en cuenta que los valores son a la altura de techo del vehículo. La utilidad de este mapa (apoyado por los gráficos de evolución de la iluminancia) es la de detectar zonas iluminadas incorrectamente (a pesar de que puedan tener una iluminancia media correcta, una parte puede no estar iluminada y otra parte excesivamente iluminada), como por ejemplo una uniformidad anormalmente baja puede ser sospechoso lámparas fundidas. También se debe tener en cuenta que la uniformidad está calculada por donde circula el vehículo, por lo que no se puede garantizar que otras partes del sector, como aceras, tengan la misma uniformidad.
- *Sectores seleccionados* : Muestra los sectores actualmente seleccionados.



## Gestor de capas

Contiene las principales herramientas para visualizar y modificar las diferentes capas. Se distinguen dos partes, una de capas de sectores y otra de capas de datos, tratando cada tipo de capa de forma diferente. En las listas capas y a la izquierda de cada nombre se halla un cuadro, que si está marcado indica que la capa es visible (y por lo tanto que la capa se tiene en cuenta a la hora del procesado de todos los datos) y si no está marcado la capa no se visualiza en el mapa (y no se tiene en cuenta en los cálculos). De esta forma se puede disponer de todos los datos en pantalla y de procesarlos y visualizarlos de forma selectiva, sin tener que añadirlos o borrarlos continuamente.

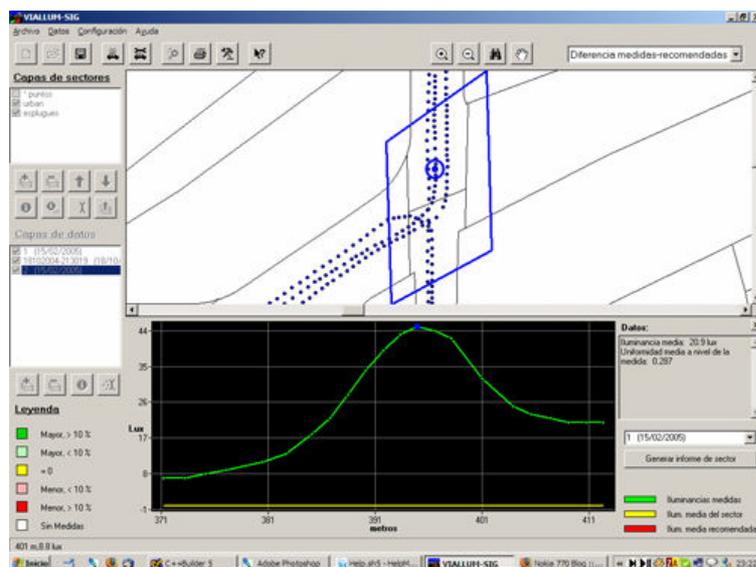


Contiene la lista de las capas de sectores (con los polígonos de las zonas que se desean estudiar) y también de las capas de información adicional (marcadas en la lista con un asterisco y que no se procesan). Los botones de la parte inferior son:

-  *Añadir capa* : Agrega una capa de sectores o de información adicional (con extensión *.shp*) al proyecto.
-  *Eliminar capa* : Borra la capa seleccionada del proyecto.
-  *Subir capa* : Sube la capa seleccionada una posición en el orden de visualización (las capas superiores pueden tapar a las inferiores, por lo que es posible que sea necesario alterar el orden para visualizar correctamente todas las capas).



-  **Bajar capa** : Baja la capa seleccionada una posición en el orden de visualización.
-  **Información de sector** : Si este botón está pulsado y se hace clic sobre un sector en el mapa aparecerá en la pantalla principal un apartado con el gráfico de evolución de la iluminancia del sector, además de información adicional del sector, como la iluminancia media o la uniformidad (en valores concretos, de mayor precisión que los de los mapas). Ver [Gráficos de evolución](#).
-  **Información de sector virtual** : Al pulsar este botón se puede trazar en el mapa un polígono cerrado (sector virtual) haciendo clic para indicar los vértices y doble clic para indicar el último vértice y salir. A partir de dicho polígono se elaborará la misma información que se genera al pulsar Información del sector, pero para el polígono que se acaba de marcar. Esto permite definir polígonos auxiliares (o virtuales) para conocer los valores en zonas en las que la poligonización no sea favorable para buscar la información que se desea. Por ejemplo, la poligonización de abajo no permite conocer la iluminancia media del cruce, pues éste está dividido en diferentes sectores, para conocerla tan sólo se debe definir un sector virtual que abarque la zona que se desea estudiar.



Ejemplo de sector virtual para estudiar la iluminación en un cruce.



-  **Selección y edición de sectores** : Muestra la barra de herramientas de [selección y edición de sectores](#).
-  **Exportar capa** : Crea en el directorio indicado una copia de la capa de sectores seleccionada. Puede ser útil para guardar versiones diferentes de mapas editados y para preparar próximas capturas (ver [ejemplo](#)) ya que los sectores seleccionados (ver [edición y selección de capa de sectores](#)) se visualizan de forma diferenciada de los demás sectores en el programa *VIALLUM-Movil*.



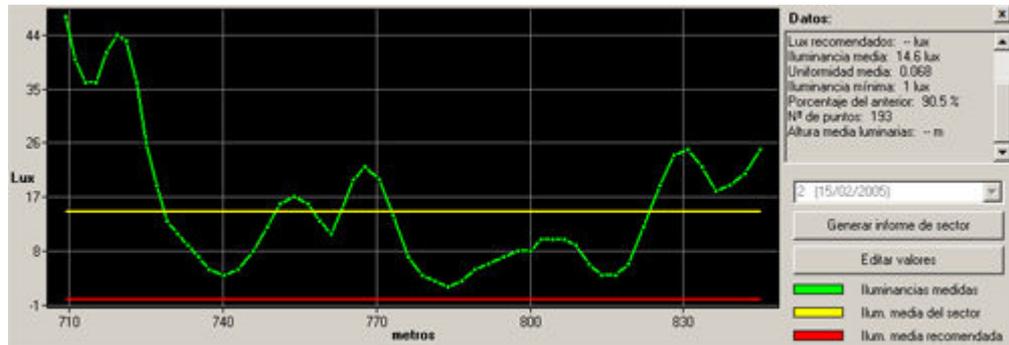
Contiene la lista de las sesiones de toma de medidas, indicando el nombre de la captura y la fecha en que se realizó. Los botones de la parte inferior son:

-  **Añadir datos** : Agrega una capa de medidas a partir de los ficheros generados por *VIALLUM-Movil* (ficheros \*.dat).
-  **Eliminar datos** : Borra la capa de datos seleccionada.
-  **Información de capa de datos** : Muestra información relativa a la capa de datos, como fecha y hora de inicio de la medida, comentarios de la captura o altura de las medidas. Además, muestra un [gráfico de evolución](#) de las medidas a lo largo de la captura de datos de la capa, mostrando a la vez los valores de iluminancia media recomendados para cada punto.



-  Editar capa de datos : Muestra la barra de [selección y edición de capa de datos](#).

## Gráficos de evolución

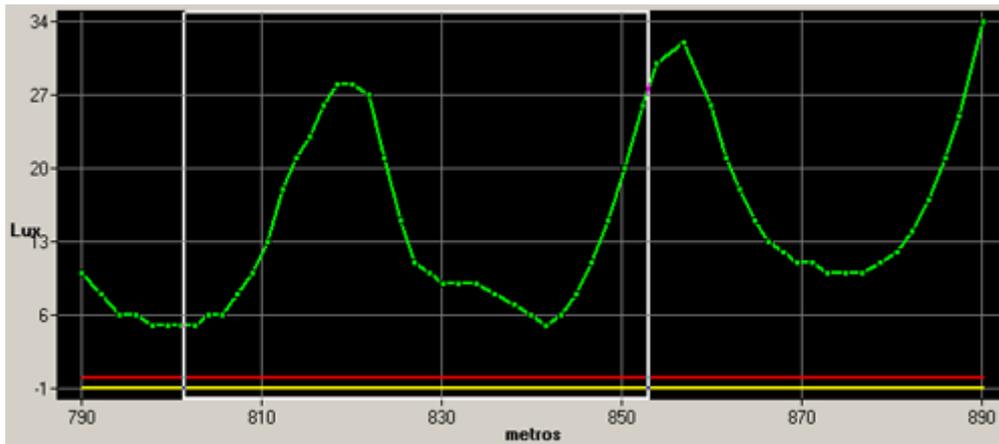


Muestra la evolución de las medidas de iluminancia (a nivel de la altura del vehículo) a lo largo del recorrido de una sesión de medidas (pulsando el botón de información de capa de medidas) , a lo largo de un sector (pulsando el botón de información de sector) o de un sector virtual (pulsando el botón de información de sector virtual ). (Ver [Gestor de capas](#))

El gráfico aparece debajo del mapa en la pantalla principal, y a su derecha aparecen datos relativos al elemento del que se ha solicitado información y la leyenda de los colores que aparecen en el gráfico. Dependiendo del gráfico puede aparecer un selector de capa de datos (en el caso de que por un sector concurra más de una capa de datos permite seleccionar la capa que se quiera visualizar en el gráfico) y uno o dos botones: *Generar informe de sector* (para elaborar un informe detallado del sector) y *Editar sector* (para modificar algunos atributos del sector, como valor de iluminancia media recomendado).

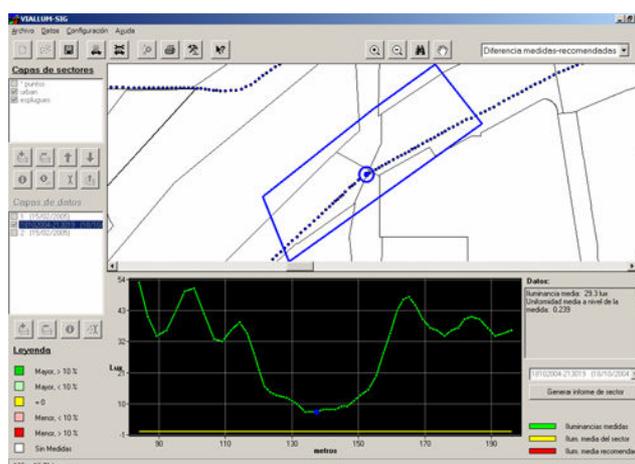
El eje Y del gráfico representa valores de iluminancia en lux., mientras que el eje X representa la distancia recorrida durante la captura en metros. El valor del eje X es relativo, no quiere decir nada por si mismo pero puede ser útil al compararlo con otros valores como por ejemplo para obtener la distancia entre dos picos para calcular la distancia entre puntos de luz. Al mover el cursor por el gráfico se muestra en la barra de estado las coordenadas del gráfico sobre las que se encuentra el cursor (iluminancia y distancia).





*Seleccionando el sector que se va a ampliar*

Se puede ampliar una zona del gráfico haciendo clic con el botón izquierdo del ratón y arrastrando sobre el gráfico mientras se pulsa la tecla *Mayúscula*. Haciendo doble clic con el botón izquierdo y pulsando *Mayúscula* se vuelve a la visualización inicial de todas las medidas. Haciendo clic con el botón izquierdo y arrastrando mientras se tiene pulsada la tecla *Ctrl* se desplaza el gráfico lateralmente. Si se pulsa el botón derecho sobre el gráfico se selecciona el punto más próximo, señalándolo con un punto de color azul en el gráfico y en el mapa, permitiendo, de esta manera, identificar en el mapa zonas de interés, como, por ejemplo, señalando un pico se puede identificar la posición aproximada de un punto de luz o señalando un valle profundo se puede identificar una zona insuficientemente iluminada (y decidir posteriormente si se pone un punto de luz en esa zona o si había uno se revisa su funcionamiento).



*Estudio de un cruce y alrededores mediante sector virtual. Al marcar el punto de menor luminancia (7 lux) se halla que pertenece justamente al centro del cruce.*



Para cerrar el gráfico de evolución y regresar a las funciones habituales del programa es necesario pulsar el botón superior derecho del panel del gráfico [x] .

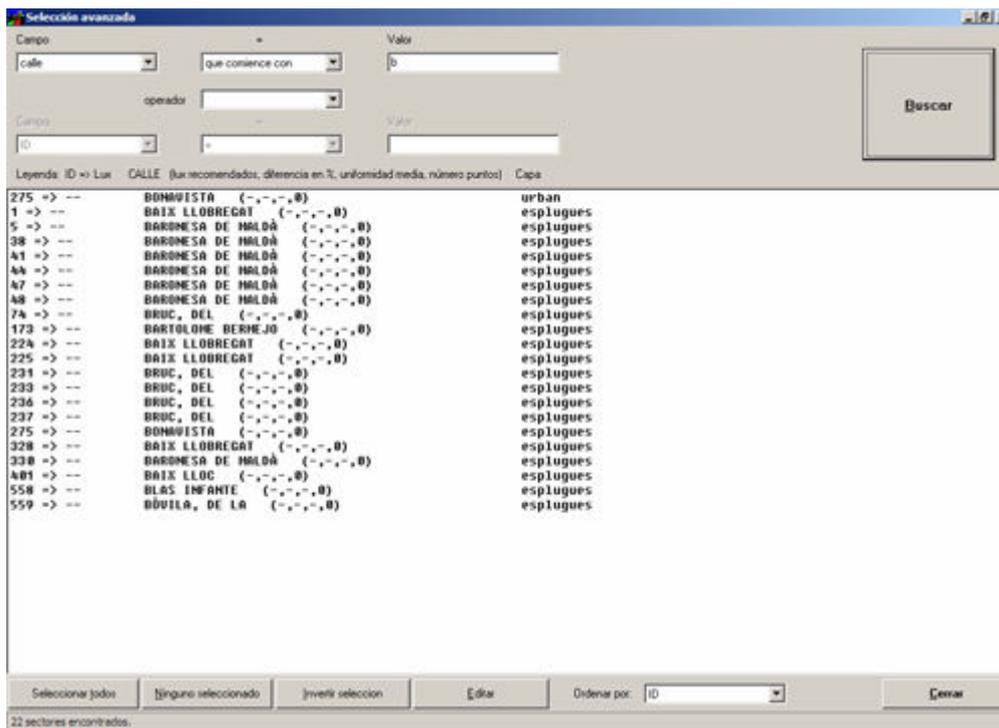
## Selección y edición de capas de sectores



Aparece al pulsar el botón , situado debajo de la lista de capas de sectores, y contiene herramientas para buscar, seleccionar y editar sectores. Éstas son:

-  *Seleccionar* : Permite marcar o desmarcar un sector, visualizándose de color rojo si esta marcado y blanco si no lo está.
- *Sel. Todo* : Selecciona todos los sectores de las capas marcadas como visibles.
- *Invertir Sel.* : Invierte la selección de los sectores, es decir, los sectores seleccionados pasan a ser no seleccionados y viceversa.
- *Sel. Nada* : Hace que no haya ningún sector seleccionado de las capas marcadas como visibles.
- *Sel. Avanzada* : Muestra una ventana que permite la selección de sectores según criterios.

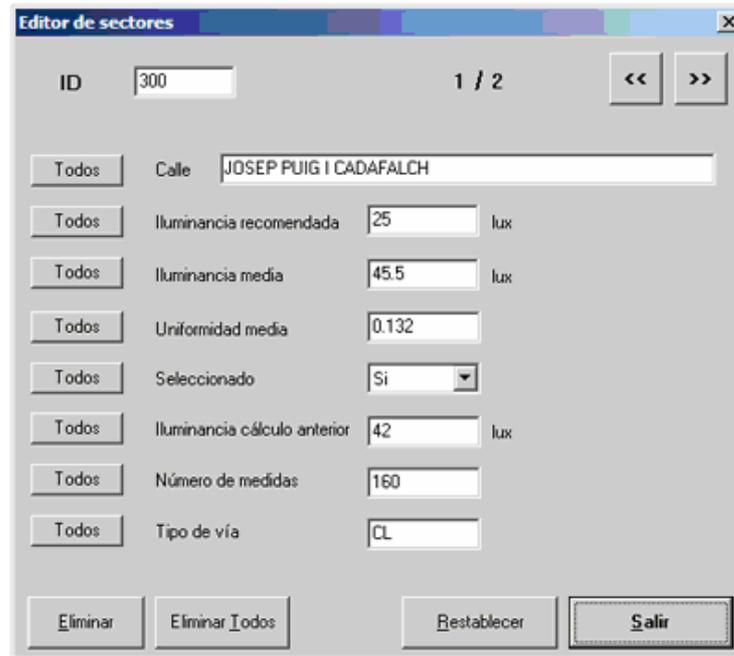




La pantalla de selección avanzada se divide en tres partes:

- **Criterios de búsqueda** : En él se selecciona un *campo* (ver [significado de los campos](#)) y se compara con un *valor*. Se pueden establecer dos criterios relacionados mediante un *operador* booleano. Pulsando el botón buscar se inicia la búsqueda bajo los criterios introducidos.
- **Resultados de la búsqueda** : Muestra los sectores que cumplen los criterios de búsqueda, junto a sus características (indicado en la parte superior el significado de cada valor).
- **Acciones sobre los resultados** : Se muestran controles de selección de los resultados (además de poderse elegir manualmente pulsando sobre el sector) y de edición de los sectores encontrados (*Editar*). Además se encuentra un selector de orden de los resultados y el botón para *Cerrar* la pantalla de selección avanzada.
- **Editar Sel.** : Abre el cuadro de edición de parámetros de los sectores con los sectores seleccionados. Para ello el programa realiza una búsqueda avanzada automática.





En la parte superior de la ventana de edición de sectores se encuentra el número de identificación del sector, su posición en la lista de sectores seleccionados, el número de sectores, así como los botones de desplazamiento por los diferentes sectores. En la parte media se encuentran los diferentes valores de un sector que se pueden editar, junto a un botón *Todos* que asigna el valor del campo a todos los sectores seleccionados. En la parte inferior se encuentran los botones:

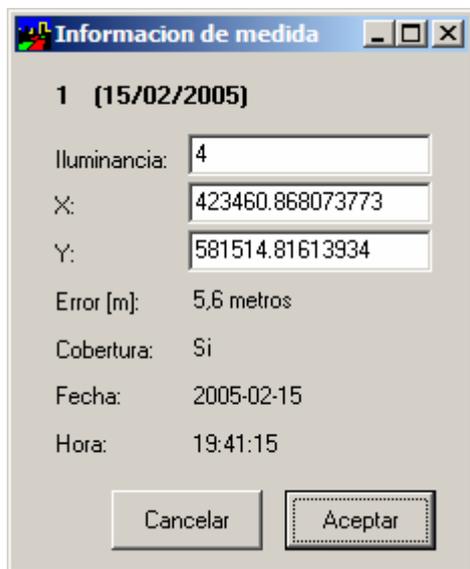
- *Eliminar* : Borra el sector del que se muestran los valores.
- *Eliminar todos* : Borra todos los sectores seleccionados.
- *Restablecer* : Vuelve a cargar los valores originales del sector actual (si se cambia de sector los cambios no se pueden deshacer mediante este botón).
- *Salir* : Para volver a la pantalla anterior.
- *Informe Sel.* : Elabora un informe a partir de los sectores seleccionados.

## Edición de capas de datos



Aparece al pulsar el botón  , situado debajo de la lista de capas de datos, y contiene herramientas para buscar, seleccionar y editar los puntos de medida. Éstas son:

-  *Seleccionar puntos:* Marca los puntos para ser procesados posteriormente.
-  *Crear recta de proyección:* Si se pulsa el botón y a continuación se marcan dos puntos sobre el mapa se dibuja un segmento entre ambos puntos que servirá para proyectar puntos.
-  *Proyectar puntos:* Proyecta los puntos seleccionados sobre la recta de proyección dibujada, para corregir errores de posición de los puntos (ya sea por error en la medición de la posición o de errores de la cartografía). Ver ejemplo, [Paso 3: Manipulación de capas](#).
-  *Editar punto:* Al pulsar y hacer clic sobre un punto de medida aparece la pantalla de edición de puntos.



<b>1 (15/02/2005)</b>	
Iluminancia:	<input type="text" value="4"/>
X:	<input type="text" value="423460.868073773"/>
Y:	<input type="text" value="581514.81613934"/>
Error [m]:	5,6 metros
Cobertura:	Si
Fecha:	2005-02-15
Hora:	19:41:15
<input type="button" value="Cancelar"/> <input type="button" value="Aceptar"/>	

En ella se puede ver el nombre de la capa al que pertenece, así como ver y editar los valores asociados al punto, como la iluminancia medida o la posición, y ver otros como el error máximo de posición del GPS y la fecha y hora de la medida.



-  *Borrar punto*: Al pulsar y hacer clic sobre un punto de medida éste es borrado.

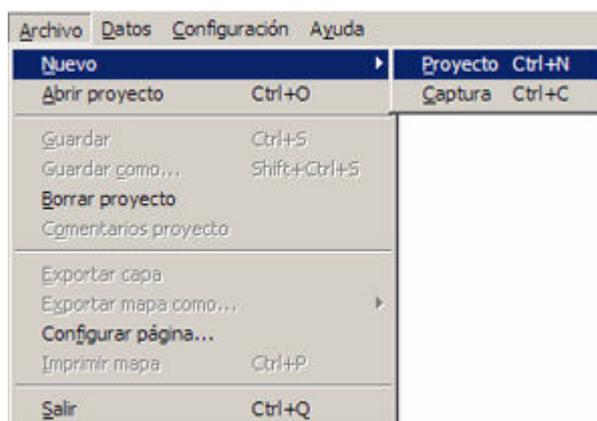
## Ejemplo guiado II

### Paso 1: Crear un proyecto

El primer paso que se debe realizar para poder estudiar una zona determinada a partir de los valores obtenidos por el programa VIALUM-Movil es necesario crear un contenedor que aglutine todos los datos, permitiendo un acceso fácil al conjunto de estos. Dichos contenedores son llamados proyectos, y están formados por un archivo con extensión PRL y una carpeta asociada al archivo con los archivos del proyecto.

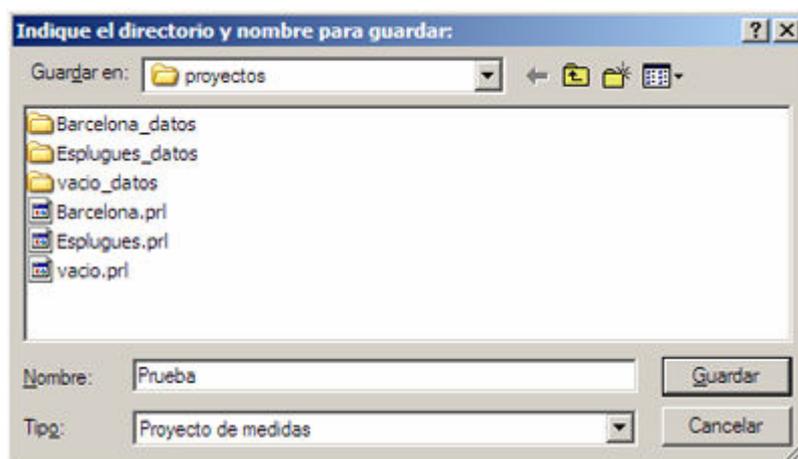
Para crear un proyecto vacío (al cual posteriormente se le añadirán los datos) se puede hacer:

- Pulsando el botón .
- Menú principal → Archivo → Nuevo → Proyecto

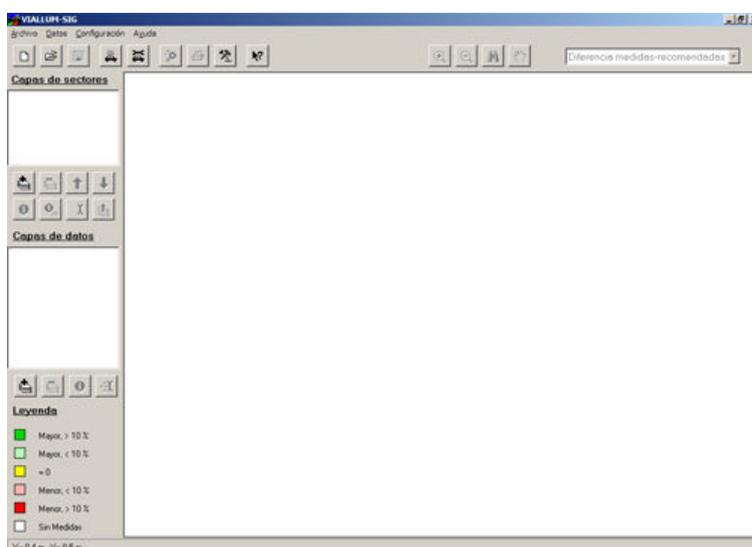


Inmediatamente después el programa muestra una ventana para indicar el nombre del proyecto y el directorio donde se guardará el archivo PRL del proyecto y la carpeta de los datos.





Una vez indicados, el programa muestra el mapa y las listas de capas vacías.



Ahora es un buen momento para apuntar comentarios del proyecto (por ejemplo descripción de la finalidad del estudio, peculiaridades de la zona, etc.) mediante *Menú principal* → *Archivo* → *Comentarios proyecto*. En cualquier momento estos comentarios se pueden modificar de la misma manera.

Una vez definida la estructura básica del proyecto, sólo queda guardarla para asegurarse de que se encontrará en el mismo lugar la próxima vez que se inicie el programa, pudiéndolo hacer de dos maneras:

- Pulsando el botón 



- *Menú principal* → *Archivo* → *Guardar*.

## Paso 2: Introducir información de sectores y medidas

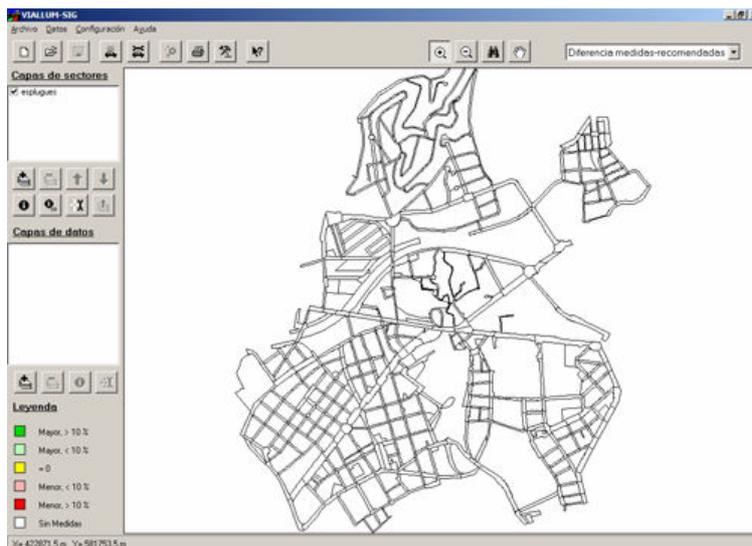
Una vez creada la estructura básica, se han de añadir los datos que se desean procesar. Los datos del programa están estructurados en forma de capas y, como se describe en [Funcionamiento básico](#), el programa acepta capas de sectores, capas de información adicional y capas de datos. En este ejemplo se introducirán de los tres tipos para mostrar su funcionamiento.

En el proyecto ha de existir al menos una capa de sectores, que son sobre las que se implementarán los datos. Para añadir una capa de sectores se pulsa el botón  del gestor de capas de sectores. El programa pregunta por la localización del fichero que contiene la capa, en este caso con la extensión *.shp*. Dicho fichero ha de cumplir los criterios descritos en [Requerimientos del sistema](#).

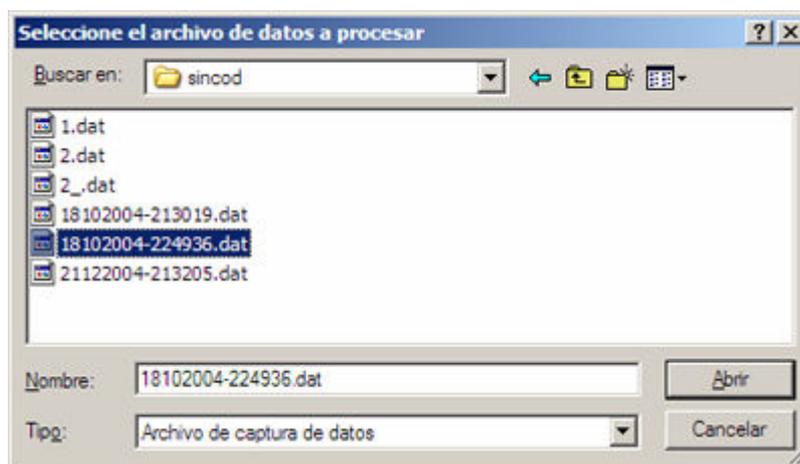


Una vez cargada la capa de sectores el mapa la muestra en forma de polígonos que representan cada sector de estudio.



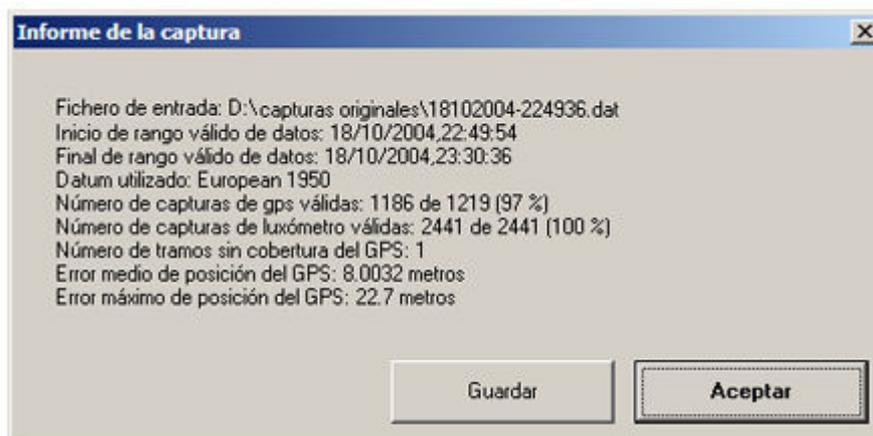


Además de capas de sectores el programa necesita capas de datos. Para añadir una capa de datos se procede a pulsar el botón  del gestor de capas de datos. El programa pregunta por un archivo con extensión *.dat*, que es el tipo de fichero generado por el programa *VIALUM-Movil*.

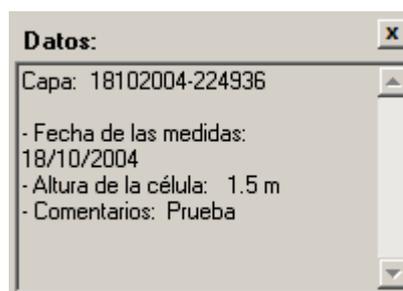


El programa necesita realizar unos cálculos antes de mostrar la capa por pantalla. Una vez finalizados los cálculos, se muestran unos datos relativos al procesado de las medidas.





A continuación las medidas aparecen sobre el mapa como puntos, mostrando por donde pasó el vehículo y donde tomó las medidas. Se puede obtener información relativa a la captura (para confirmar que la capa cargada es la correcta, por ejemplo) pulsando el botón  del gestor de capas de datos. En pantalla aparece un gráfico de evolución de la iluminancia a lo largo del recorrido, y a su izquierda los datos generales de la captura.



*VIALLUM-SIG* también puede cargar un tercer tipo de capas, llamadas capas de información adicional. Dichas capas no intervienen en los cálculos pero pueden proporcionar información visual. En este caso, la capa cargada proporciona información sobre la posición de los puntos de luz. Estas capas se añaden de la misma forma que las capas de sectores, el único requerimiento es que este en formato *Shapefile* (archivos con extensión *.shp*).

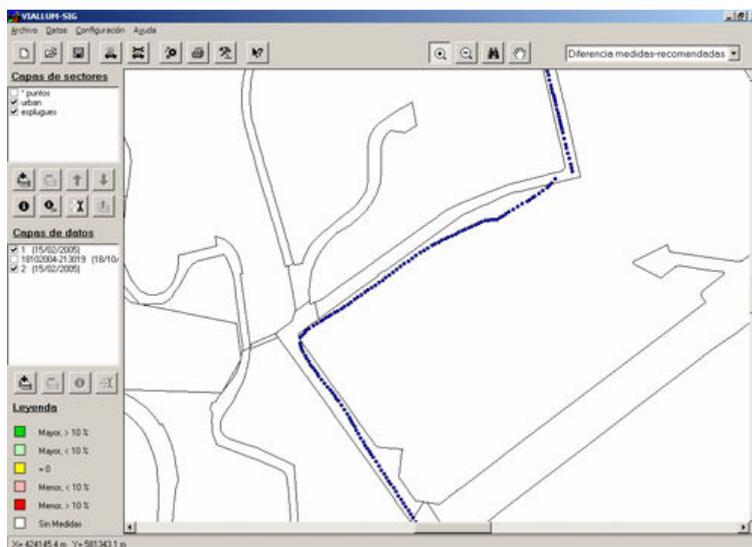
### Paso 3: Manipulación de capas

No siempre es posible que las capas proporcionadas por *VIALLUM-Movil* (para las de datos) o por el proveedor de cartografía (para las de sectores) se ajusten a las necesidades



del usuario o a la realidad. Para ello en ocasiones se tienen que modificar las capas por lo que VIALUM-SIG proporciona herramientas para realizar las modificaciones necesarias.

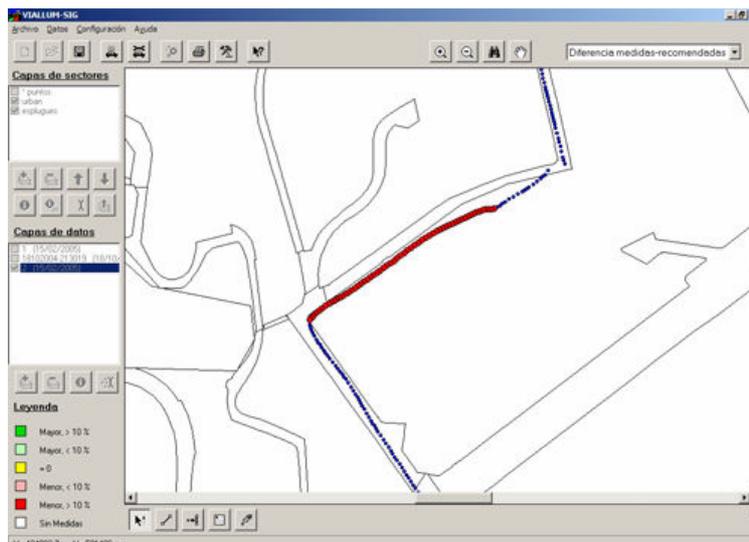
Por ejemplo, en la capa de datos que se muestra existe un tramo en que las medidas no se ajustan al mapa (sea por errores de la cartografía, mala cobertura de señal del GPS, etc.).



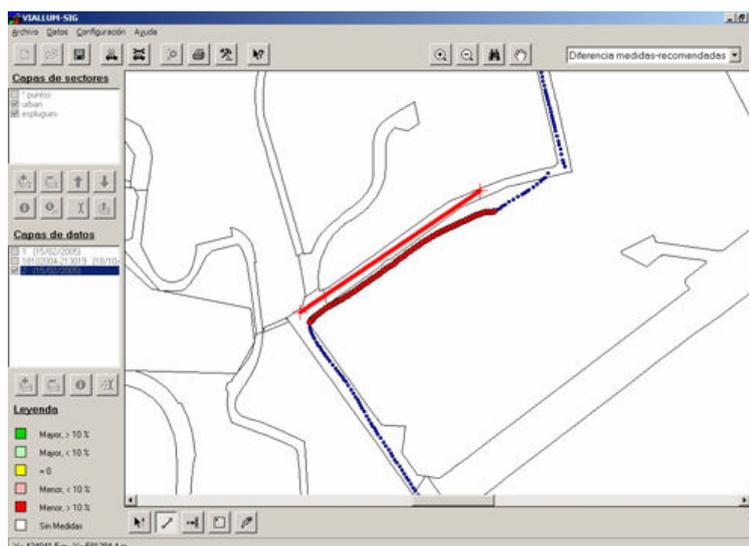
Estas medidas no se contabilizarían al encontrarse fuera de sector, por lo que para que el valor calculado sea lo más correcto posible es necesario desplazar estas medidas al interior del sector. Para ello se selecciona la capa de datos que se desea editar y a continuación de pulsa el botón  para desplegar las herramientas de edición de capas de datos.

Primero seleccionamos los puntos que vamos a desplazar, pulsando el botón  y haciendo clic en los puntos o trazando un rectángulo para seleccionar (o deseleccionar) los puntos que hay en su interior. Los puntos seleccionados se visualizan como puntos rojos de mayor tamaño.



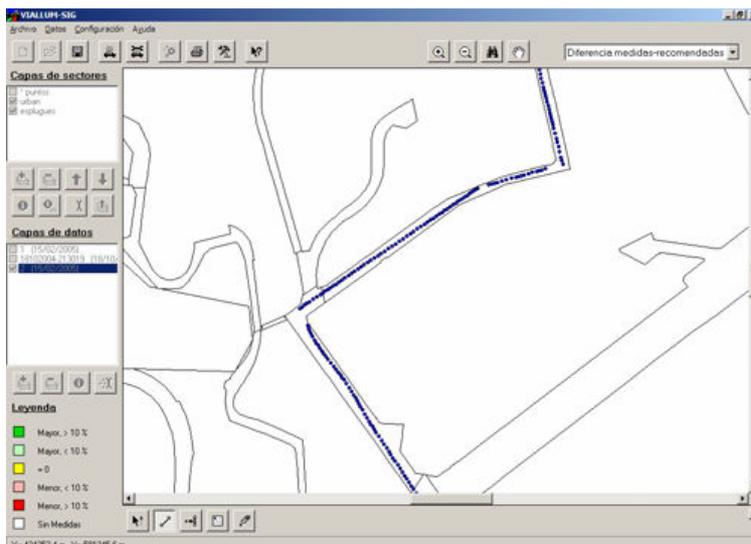


El segundo paso es indicar la recta sobre la cual se proyectarán los puntos seleccionados. Para ello se pulsará el botón  y se hace clic sobre el mapa para marcar los dos extremos de la recta.



Una vez seleccionados los puntos e indicada la recta de proyección se procede a desplazar los puntos sobre la recta pulsando el botón . Los puntos aparecen en su nueva localización, dentro del sector, por lo que serán procesados correctamente. Se repite el proceso para completar la calle obteniendo el siguiente resultado:





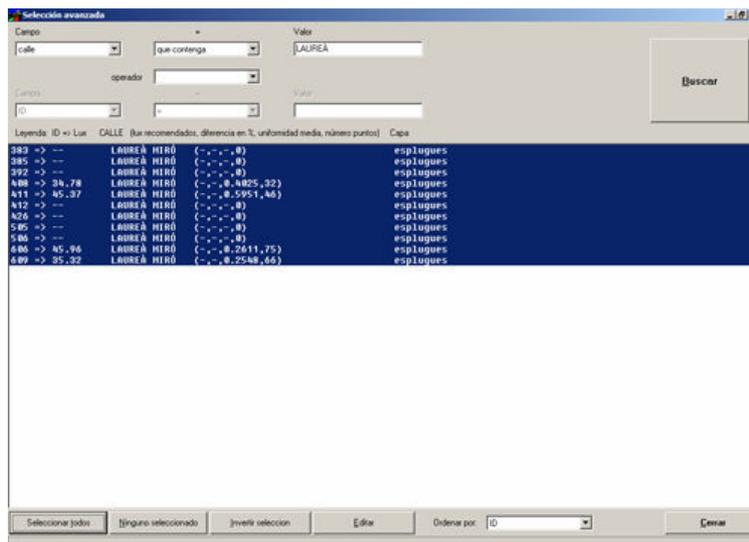
Aunque el resultado no sea uniforme, lo que realmente importante es que lo sea durante las medidas y que éstas estén dentro de los sectores.

También puede ser necesario modificar las capas de sectores para ajustarlas a situaciones particulares. Es necesario, por ejemplo introducir los valores de referencia de iluminancia media de cada sector, pudiendo no tener todos los sectores el mismo valor. En este caso se asignará un valor de iluminancia media recomendado de 7.5 lux a todas las calles excepto los ejes principales del municipio, que será de 20 lux (debido al volumen de tránsito de vehículos y peatones, así como gran presencia de comercios u otras áreas de interés).

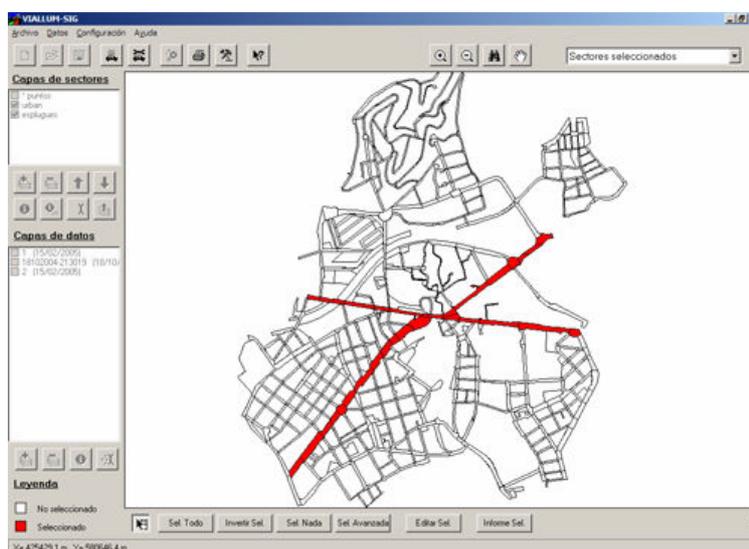
Primeramente se muestra el conjunto de herramientas de selección y edición de sectores pulsando el botón . Se procede a seleccionar las calles que tendrán una iluminancia media recomendada de 20 lux, para ello se pulsa *Sel. Avanzada*.

Se selecciona el campo "calle", el comparador "que contenga" y se introduce el nombre de la calle que se desea seleccionar. Al pulsar el botón superior derecho (*Buscar*) aparecen en la parte inferior los resultados de la búsqueda. Si los resultados son adecuados se seleccionan todos pulsando el botón "Seleccionar todos" o bien manualmente haciendo clic en cada uno de los elementos de la lista de resultados de la búsqueda.





Se repite el proceso para seleccionar los demás ejes principales del municipio y pulsando salir se vuelve a la pantalla principal, donde estarán marcados de rojo los sectores seleccionados. Se puede terminar de seleccionar sectores manualmente haciendo clic sobre el sector que se desea seleccionar (o deseleccionar).



Una vez seleccionados todos los polígonos que se desea editar se pulsa el botón *Editar Sel.* para que aparezca la ventana de edición de sectores.

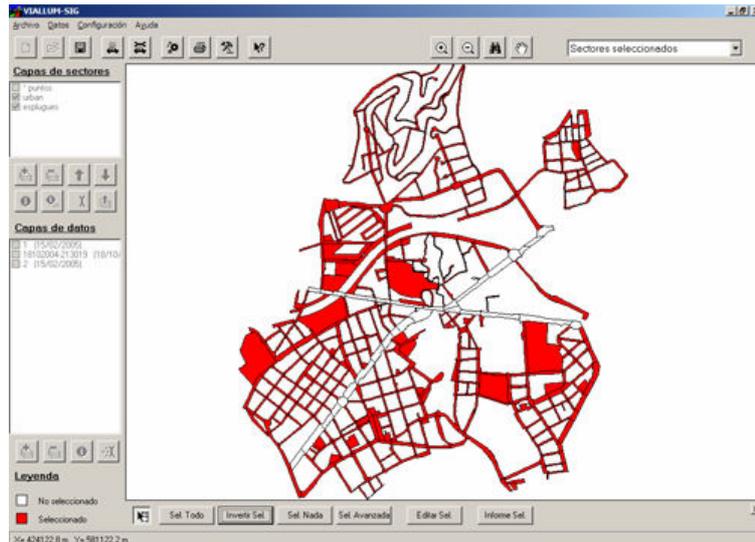


The screenshot shows a software window titled "Editor de sectores". At the top, there is an "ID" field containing "383" and a page indicator "10 / 31" with left and right navigation arrows. Below this is a list of fields for editing sector data. Each field has a "Todos" button to its left. The fields are: "Calle" with the value "LAUREÀ MIRÓ"; "Iluminancia recomendada" with the value "20" and unit "lux"; "Iluminancia media" (empty); "Uniformidad media" (empty); "Seleccionado" with a dropdown menu showing "Si"; "Iluminancia cálculo anterior" (empty) with unit "lux"; "Número de medidas" with the value "0"; and "Tipo de vía" with the value "CL". At the bottom of the window are four buttons: "Eliminar", "Eliminar Todos", "Restablecer", and "Salir".

En ella se pueden editar los sectores uno a uno, pero en este caso no es necesario. Se puede introducir el valor de iluminancia media recomendada de 20 lux y pulsar el botón *Todos* que se encuentra a su izquierda, de esta manera se aplicarán los 20 lux a todos los sectores seleccionados.

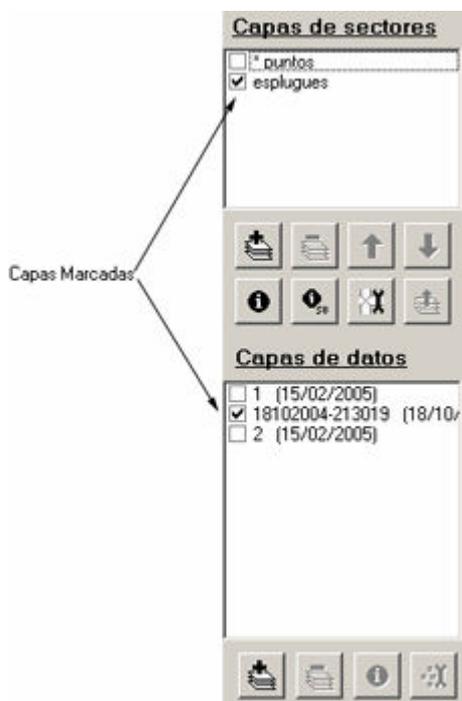
Para continuar se sale de la ventana de edición de sectores pulsando el botón *Salir* hasta volver al mapa. Queda aún por asignar el valor de 7.5 lux al resto de sectores. Partiendo del estado anterior el proceso es sencillo, sólo hay que pulsar el botón *Invertir Sel.* para hacer que todo lo que antes no estaba seleccionado ahora lo esté y viceversa, y a continuación repetir el proceso anterior pulsando *Editar Sel.* para asignar el valor de 7.5 lux a todos los sectores seleccionados.





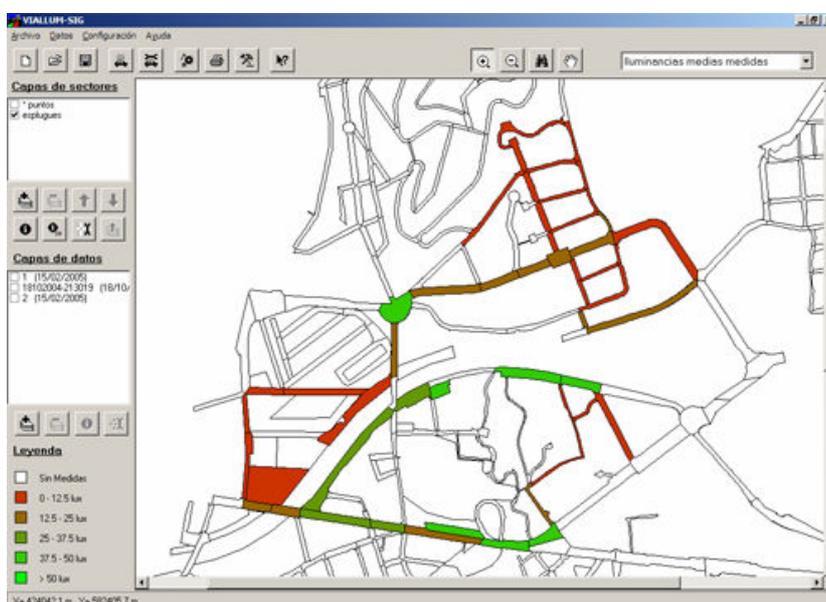
#### Paso 4: Procesar y visualizar

Una vez introducidos todos los datos y adecuados para el uso que se va a hacer de ellos es necesario procesarlos antes de poder visualizarlos. El programa sólo procesa los elementos visibles, es decir aquellos que se visualizan en el mapa, tanto sectores como medidas, por lo que es necesario asegurarse de que las casillas a la izquierda de los nombres de las capas que se quieren procesar están marcadas.



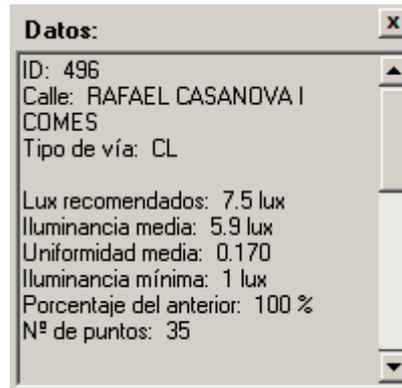
Una vez seleccionadas las capas que se desean procesar se pulsa el botón *Procesar* (o bien con *Menú principal* → *Datos* → *Procesar*). El programa se toma un tiempo calculando mientras muestra el estado de progreso en que se encuentra en la barra de estado.

Una vez ha terminado los datos visualizados en el mapa están actualizados según los datos seleccionados. Es un buen momento para guardar los cambios mediante *Menú principal* → *Archivo* → *Guardar*. Para visualizar en el mapa los diferentes valores calculados se puede hacer escogiendo el tipo de representación en la lista situada en la parte superior derecha de la ventana principal. La explicación de los códigos de colores empleados en el mapa se encuentra en la parte inferior izquierda de la pantalla.



Si se desea obtener un valor preciso de un sector (no hay que olvidar que el mapa es una representación aproximada de los diferentes valores) se puede pulsar el botón  del gestor de capas y a continuación pulsar un sector sobre el mapa para obtener un gráfico de evolución de las medidas del sector, así como los valores calculados exactos.



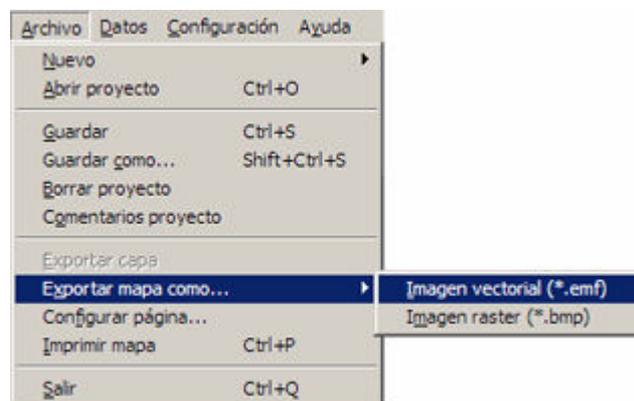


## Paso 5: Elaboración de informes

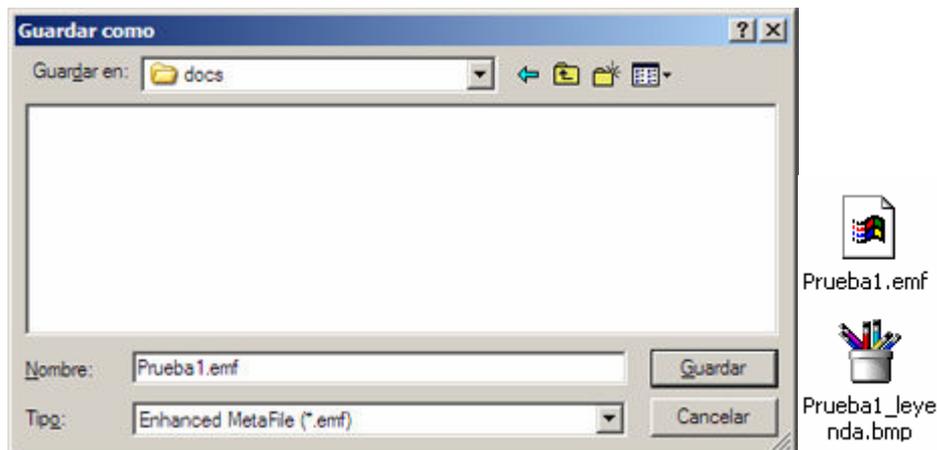
Además de poder visualizar los datos por pantalla también se puede extraer la información en otros formatos para ser manipulada y presentada. A continuación se describe como extraer los datos y editarlos con otros programas.

Una vez procesados los datos se procede a darles un formato para una mejor presentación. En este caso se elaborará un informe con una hoja de cálculo de las calles medidas y de un sector en detalle.

El mapa, además de por pantalla puede imprimirse (con *Menú Principal* → *Archivo* → *Imprimir Mapa*) o bien puede guardarse en un fichero de imagen (en formato vectorial o *raster*). Esta última manera es útil para insertarla en una hoja de cálculo o en un documento del procesador de texto. Para generar la imagen se selecciona el mapa que se desea guardar (en este caso se obtendrán imágenes de, por ejemplo, iluminancias medias medidas, diferencia iluminancia media medida-recomendada y uniformidad a la altura coche), y se accede a la función *Menú Principal* → *Archivo* → *Exportar mapa como* → *Imagen vectorial (\*.emf)*.



El formato vectorial ocupa menos memoria y ofrece mejor calidad a la hora de imprimir por lo que se ha elegido frente al formato *raster* (más compatible y fácil de editar). El programa pregunta por el nombre el directorio y del archivo que se va generar, una vez introducido, además de la imagen deseada también se genera otra imagen, esta siempre en formato raster (*.bmp*) que contiene la leyenda del mapa.



Para generar las tablas, se hará desde el *Menú Principal* → *Datos* → *Informes* → *Sectores procesados*. También se podría hacer seleccionando los sectores deseados y pulsando *Editar Sel* de la barra de herramientas de selección de sectores, o bien desde la selección avanzada. El programa pregunta por el destino del archivo *.csv*, que contiene los datos tabulados de los sectores procesados. Se introduce destino y nombre, y el fichero generado es abierto con una hoja de cálculo.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Fecha	23/09/2005											
2	Proyecto	D:\Esplugues.prf											
3	Mapa	ID	Tipo vía	Nombre calle	Iluminancia	Iluminancia re	Porcentaje ar	Uniformidad	n° puntos	X centroide	Y centroide	Capas de datos proce	
4	esplugues	394		ALEXANDRE	9 17647059	-	100	0 54487179	34	424186 953	581577 739	18102004-213019	
5	esplugues	183	CL	AUGUST FOI	10 2095238	-	100	0 39179104	105	424128 161	582123 407	18102004-213019	
6	esplugues	8	CL	ANDREU AM	8 53846154	-	100	0 15294118	39	423607 775	581579 024	18102004-213019	
7	esplugues	180	CL	APEL LES M	8 30927935	-	100	0 12034739	97	424250 728	581877 14	18102004-213019	
8	esplugues	179	CL	APEL LES M	11 1521739	-	100	0 35987446	46	424267 139	581975 721	18102004-213019	
9	esplugues	196	CL	AUGUST FOI	7 25	-	100	0 4137931	116	424101 749	582200 773	18102004-213019	
10	esplugues	193	CL	AUGUST FOI	8 41284404	-	100	0 15593705	109	423951 199	582090 346	18102004-213019	
11	esplugues	173	CL	BARTOLOME	8 8125	-	100	0 45390971	112	424027 271	582287 361	18102004-213019	
12	esplugues	189	PZ	CONSTITUCI	39 9230769	-	100	0 10019268	39	423711 365	581836 053	18102004-213019	
13	esplugues	333	AV	DOCTOR PO	5 75	-	100	0 52173913	48	424103 787	582005 107	18102004-213019	
14	esplugues	194	AV	DOCTOR PO	6 67567568	-	100	0 29995614	37	424016 773	582230 079	18102004-213019	
15	esplugues	196	AV	DOCTOR PO	6 56626506	-	100	0 30458716	83	424079 312	582068 529	18102004-213019	
16	esplugues	195	AV	DOCTOR PO	6 01234568	-	100	0 33264887	81	424049 748	582145 017	18102004-213019	
17	esplugues	595	PZ	DOÑA CARO	15 3857143	-	100	0 32497679	70	424121 312	581964 81	18102004-213019	
18	esplugues	163	CL	FERRER I BU	8 73333333	-	100	0 34361145	30	424202 396	582109 756	18102004-213019	
19	esplugues	164	CL	FERRER I BU	7 08333333	-	100	0 42352941	36	424178 914	582177 809	18102004-213019	
20	esplugues	171	CL	FERRER I BU	8 42222222	-	100	0 30620953	45	424154 111	582062 386	18102004-213019	
21	esplugues	162	CL	FERRER I BU	13 0357143	-	100	0 30684932	28	424236 669	582059 794	18102004-213019	
22	esplugues	433	CL	GAIETA FAU	38 5862069	-	100	0 64789991	29	424174 756	581645 37	18102004-213019	
23	esplugues	334	AV	JACINT ESTE	17 40625	-	100	0 34470377	32	424055 453	581938 797	18102004-213019	
24	esplugues	335	AV	JACINT ESTE	13 647619	-	100	0 07327285	210	424205 057	581996 745	18102004-213019	
25	esplugues	190	AV	JACINT ESTE	16 5645161	-	100	0 18111003	62	423834 496	581882 208	18102004-213019	
26	esplugues	191	AV	JACINT ESTE	19 1388889	-	100	0 31349782	36	423969 458	581905 869	18102004-213019	
27	esplugues	330	AV	JACINT ESTE	12 3157896	-	100	0 16239316	95	424372 343	582008 346	18102004-213019	
28	esplugues	187	CL	JOSEP M P	10 8440367	-	100	0 36886633	109	424156 697	582055 827	18102004-213019	
29	esplugues	300	CL	JOSEP PUIG	36 62	-	100	0 19167878	50	423583 201	581447 617	18102004-213019	
30	esplugues	590	CL	JULI CULEBF	46 1428571	-	100	0 23376623	45	423753 551	581611 765	18102004-213019	
31	esplugues	414	CL	JULI CULEBF	46 1428571	-	100	0 82352941	21	423819 515	581629 34	18102004-213019	
32	esplugues	609	CL	LAUREA MR	34 6263158	-	100	0 35266821	38	423555 476	581303 303	18102004-213019	
33	esplugues	408	CL	LAUREA MR	31 5555556	-	100	0 30028169	27	423688 402	581282 456	18102004-213019	
34	esplugues	411	CL	LAUREA MR	47 3448276	-	100	0 17813547	29	423987 459	581236 31	18102004-213019	



A partir de ahí el usuario puede modificar la tabla y el formato de la misma adecuándola a sus necesidades.

Tipo vía	Nombre calle	lum Medía (lux)	I recom. (lux)	Unif. media
CL	ALEXANDRE SOLER I MARCH	10.20952381	7.5	0.39179104
CL	ANDREU AGAT, D	6.538451538	7.5	0.15294118
CL	APEL LES MESTRES	8.399278361	7.5	0.12634739
CL	APEL LES MESTRES	11.15217391	7.5	0.35867446
CL	AUGUST FONT I CARA	7.25	7.5	0.4137931
CL	AUGUST FONT I CARA	6.412844037	7.5	0.15593705
CL	BARTOLOME BERRUJO	9.8125	7.5	0.45390071
PZ	CONSTITUCIÓ DE LA	39.92307492	7.5	0.10019268
AV	DOCTOR POLIPLANA	5.75	7.5	0.52173913
AV	DOCTOR POLIPLANA	6.675675676	7.5	0.29959514
AV	DOCTOR POLIPLANA	6.566265566	7.5	0.30458716
AV	DOCTOR POLIPLANA	6.912345678	7.5	0.33264887
PZ	DOÑA CAROLINA, DE	15.39571429	7.5	0.32497679
CL	FERRER I BASSA	8.733333333	7.5	0.34351145
CL	FERRER I BASSA	7.083333333	7.5	0.42352941
CL	FERRER I BASSA	8.422222222	7.5	0.35620053
CL	FERRER I BASSA	13.03571429	7.5	0.30684932
CL	GAIETÀ FAURA	38.5862069	7.5	0.64789991
AV	JACINT ESTEVA I FONTANET	17.40625	7.5	0.34470377
AV	JACINT ESTEVA I FONTANET	13.64761905	7.5	0.87327285
AV	JACINT ESTEVA I FONTANET	16.56451613	7.5	0.18118003
AV	JACINT ESTEVA I FONTANET	19.13888889	7.5	0.31349782
AV	JACINT ESTEVA I FONTANET	12.31578947	7.5	0.16239316
CL	JOSEP M PUJOL	10.8440367	7.5	0.36886633
CL	JOSEP PUJOL I CADAFALCH	36.52	7.5	0.19167579
CL	JULI CULEBRAS I BARBA	34.22222222	7.5	0.23376623
CL	JULI CULEBRAS I BARBA	46.14285714	7.5	0.82352941
CL	LAUREA MIRÓ	34.02631579	20	0.35266821

La tabla generada anteriormente no muestra información de las medidas, solamente de los valores calculados. En cambio, si que se puede obtener una tabla con los valores calculados y las medidas para un sector (o un sector virtual). La forma de obtenerlo es mediante el botón *Generar informe del sector*, que se muestra debajo de a la derecha del [gráfico de evolución](#). De la misma manera se genera un fichero .csv que puede ser importado por una hoja de cálculo, pudiéndose realizar cálculos o incluso reproducir gráficos de evolución.

Fecha	Proyecto	Mapa	ID	Tipo vía	Nombre calle	luminancia	Porcentaje de uniformidad	Capas de datos procesadas
23/09/2005	D:\backup\proyecto3\soft\proyectos\Espulgues pri	496	CL	RAFAEL CAI	5.9	7.5	100	0.17

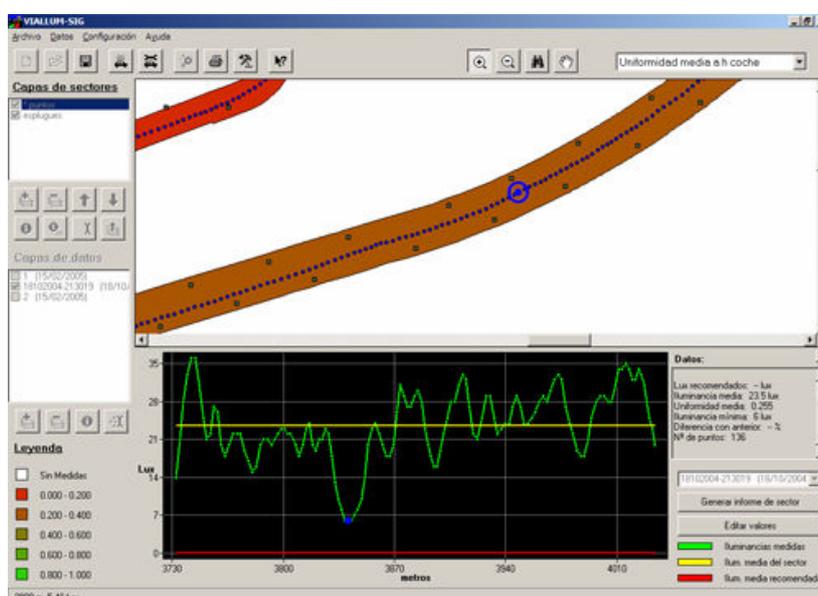
Capa	X	Y	luminancia	Distancia	Fecha	hora		
18102004-21	423335	699	581618	084	6	2301.07485	18/10/2004	21:48:30
18102004-21	423337	897	581618	489	4	2303.31012	18/10/2004	21:48:31
18102004-21	423340	295	581618	82	3	2305.73992	18/10/2004	21:48:32
18102004-21	423343	402	581618	887	3	2308.83916	18/10/2004	21:48:33
18102004-21	423346	446	581618	953	3	2311.883	18/10/2004	21:48:34
18102004-21	423349	388	581619	015	5	2314.82602	18/10/2004	21:48:35
18102004-21	423352	391	581619	076	10	2317.82973	18/10/2004	21:48:36
18102004-21	423356	489	581619	137	15	2320.92833	18/10/2004	21:48:37
18102004-21	423358	455	581619	196	17	2323.89453	18/10/2004	21:48:38
18102004-21	423361	23	581619	255	12	2326.67018	18/10/2004	21:48:39
18102004-21	423363	845	581619	338	8	2329.2985	18/10/2004	21:48:40

Añadiendo texto y situando en él mapas, gráficos y tablas se generaría el informe.



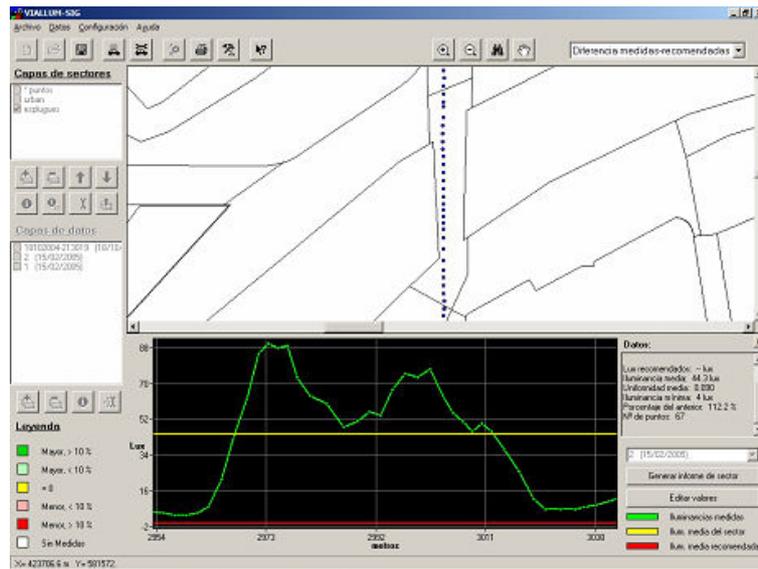
### Paso 6 (Opcional): Estudio de zonas particulares

El empleo de capas de información adicional, junto a las herramientas proporcionadas por VIALLUM-SIG permite, además de realizar estudios en amplias zonas de los valores de iluminancia media, estudiar las condiciones de iluminación de una zona determinada. Mientras que los valores calculados pueden ser indicativos de la presencia de deficiencias del alumbrado (iluminancia media baja implicaría iluminación insuficiente, mientras que uniformidad baja implicaría una mala distribución de la luz) los gráficos de evolución son una herramienta útil para conocer los posibles causas de las deficiencias.

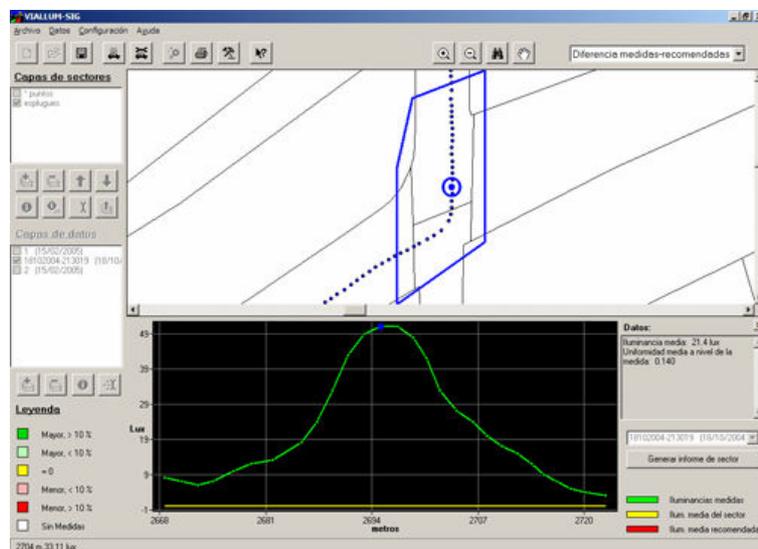


En el sector de la figura superior se aprecia en el gráfico de evolución un valle más profundo y amplio de lo normal en el sector, indicativo de un posible problema en la zona. Se pulsa el botón derecho en el centro del valle y se muestra la posición en el mapa. Al disponer una capa de información adicional con la posición de las luminarias se observa que dicha posición corresponde justamente a la altura de un punto de luz, donde normalmente debería estar un pico, por lo que existe la posibilidad que no funcione adecuadamente ese punto de luz.





En la figura superior se muestra la evolución de la iluminancia en el interior de un túnel, pudiéndose observar las zonas de transición al salir y entrar del túnel. En la figura inferior se estudia mediante otro sector virtual la evolución de la iluminancia del cruce (el cruce está dividido entre 4 sectores por lo que no se podría hacer con sectores "reales"). En este caso la iluminancia se hace mayor en la zona central indicando que el cruce está mejor iluminado que los alrededores facilitando la visibilidad en las incorporaciones de vehículos.

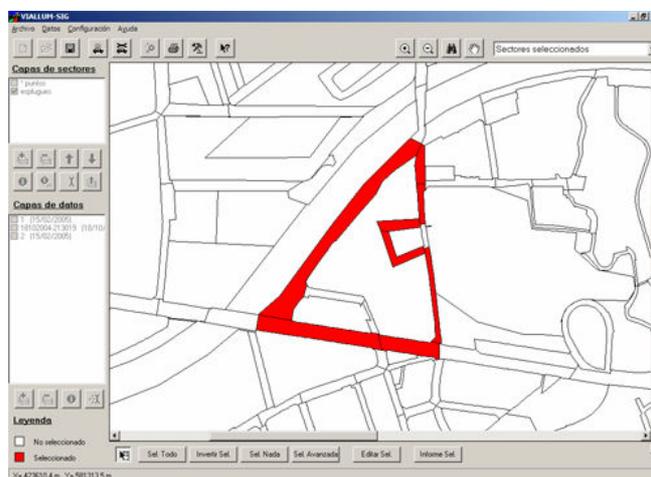


## Paso 7 (Opcional): Preparar próximas capturas

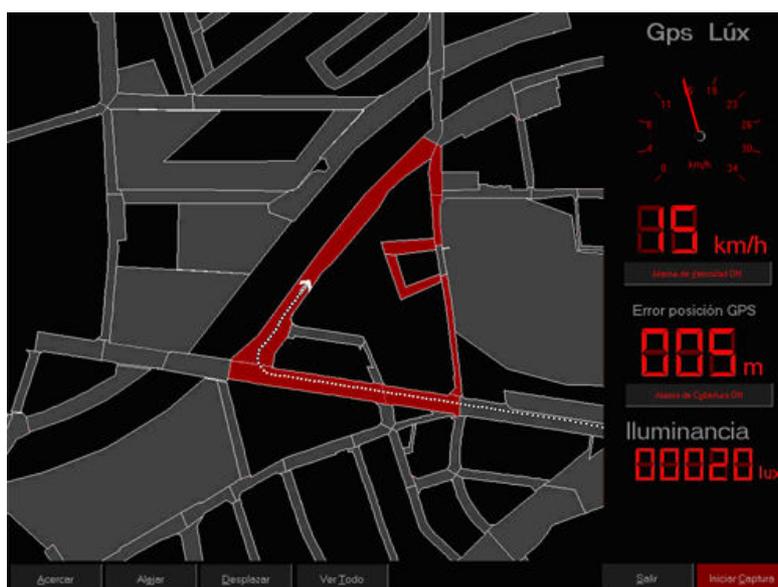
La selección de sectores permite, además de las utilidades comentadas anteriormente, en conjunción con *Exportar capa*  generar mapas con sectores marcados para



diferenciarlos de los demás sectores en el software *VIALLUM-Movil*. El procedimiento es sencillo: se seleccionan los sectores deseados según el criterio por el que se han de realizar las medidas. En el caso de las figuras inferiores se selecciona manualmente los sectores ha estudiar.

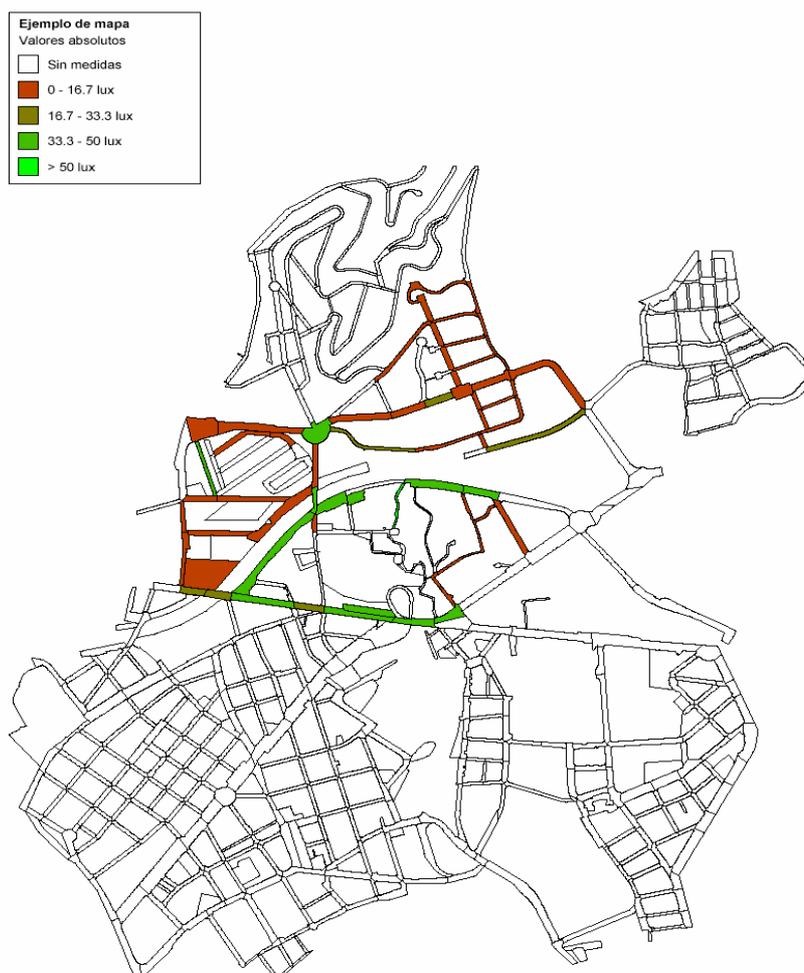


A continuación se selecciona *Menú Principal* → *Archivo* → *Exportar capa*, para crear los archivos de la capa seleccionada en el gestor de capas de sectores. Dichos archivos (con extensiones *.shp* , *.shx* y *.dbf*) se copian donde el software *VIALLUM-Movil* pueda acceder a ellos, de forma que puedan ser cargados como mapas a la hora de tomar medidas de iluminancia. De esta manera los sectores seleccionados se visualizan en *VIALLUM-Movil* de color rojo, en vez de color gris, indicando, por ejemplo, que esos sectores se han de medir.



# Ventanas varias

## Ejemplo de mapa lumínico



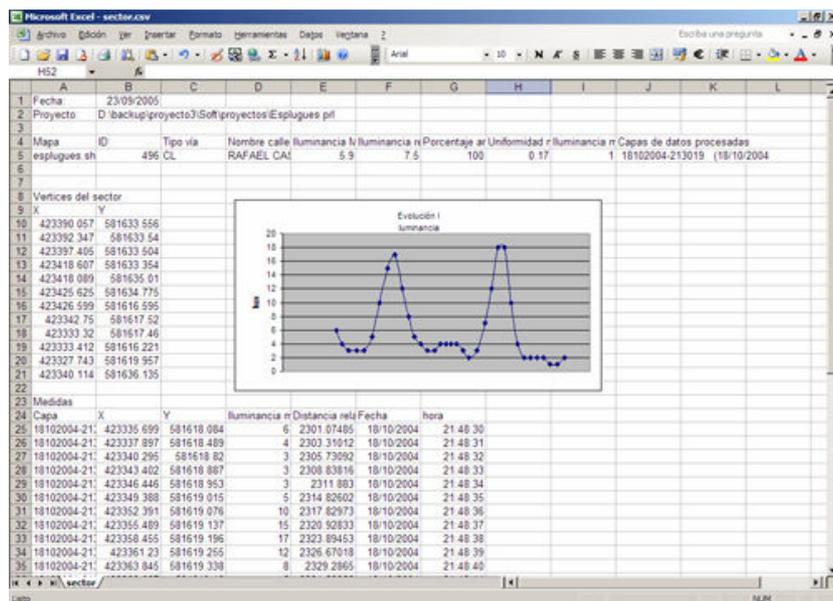
## Ejemplo de tabla de sectores

### Informe de un conjunto de sectores (mediante selección)

Fecha: 02/05/2005  
 Proyecto: C:\proyectos\Esplugues.prj

Mapa	ID	Tipo vía	Nombre calle	Iluminancia Media (lux)	Iluminancia recom (lux)	Porcentaje anterior(%)	Uniformidad media	nº medidas
esplugues	408	CL	LAUREÀ MIRÓ	33.30508475	20	95.7558591	0.632	59
esplugues	426	CL	LAUREÀ MIRÓ	17.44444444	20	-	0.524	18
esplugues	609	CL	LAUREÀ MIRÓ	34.84615385	20	98.6634987	0.689	104
esplugues	606	CL	LAUREÀ MIRÓ	37.20967742	20	80.961004	0.493	124
esplugues	385	CL	LAUREÀ MIRÓ	17.07142857	20	-	0.617	28

## Ejemplo de informe detallado de sector convertido en excel



## Significado de los campos de la selección avanzada

Los campos de la tabla (.dbf) asociada al archivo Shapefile (.shp) empleado como capa de sectores son:

- **ID:** Valor entero superior a cero. Representa un código de identificación unico de cada sector, por lo que no deben haber dos sectores con la misma ID.



- **CALLE:** *Cadena de caracteres.* Identifica la calle/avenida/plaza/etc. a la que pertenece el sector. El valor por defecto es una cadena vacía. No se requiere para el funcionamiento correcto, aunque sí para la mejor comprensión y manejo de informes.
- **LUX:** *Valor entero.* Representa la iluminancia media medida en dicho sector en lux. El valor por defecto es -1, valor que indica que no se han realizado medidas en dicho sector.
- **LUXREC:** *Valor entero.* Representa el valor de iluminancia media recomendada para dicho sector en lux. El valor por defecto es 0.
- **L-LR:** *Valor entero.* Representa la magnitud de la diferencia entre valor medido y valor recomendado de iluminancia media de un sector, siendo su valor según la siguiente tabla:

$$PC = \frac{\text{Iluminancia media medida} - \text{Iluminancia media recomendada}}{\text{Iluminancia media recomendada}} \times 100$$

$$PC > \% \text{Porcentaje} \Rightarrow L - LR = 2$$

$$0 < PC < \% \text{Porcentaje} \Rightarrow L - LR = 1$$

$$PC = 0 \Rightarrow L - LR = 0$$

$$0 > PC > - \% \text{Porcentaje} \Rightarrow L - LR = -1$$

$$PC < - \% \text{Porcentaje} \Rightarrow L - LR = -2$$

donde *%porcentaje* es el valor de corte al que *VIALLUM-SIG* está configurado (ver [Configuración de VIALLUM-SIG](#)). El valor por defecto y para indicar que no se han comparado los datos es -100.

- **UNIFMED:** Valor de coma flotante con 3 decimales. Se trata del valor de uniformidad media  $U_m$  medido a la altura del techo del vehículo. El valor por defecto e indicativo de que no hay medidas válidas es -1.
- **DIFANT:** *Valor entero.* Representa la diferencia entre los dos últimos procesados de la información para dicho sector. El valor se obtiene de la siguiente forma:



$$\text{DIFANT} = \frac{\text{Ilum. media medida último procesado}}{\text{Ilum. media medida procesado anterior}} \times 100$$

- El valor por defecto y para indicar que no se puede comparar ambos valores es -1000.
- **NPUNTOS:** *Valor entero.* Indica el número de medidas que han intervenido para elaborar los cálculos de iluminancia media medida y uniformidad media, siendo el valor por defecto -1 para indicar que dicho sector no ha sido procesado.
- **SELRUT:** *Valor entero, 0 ó 1.* Indica si el sector está seleccionado (1) o no seleccionado (0). El valor por defecto es 0.
- **TIPOC:** *Cadena de caracteres.* Indica el tipo de vía (calle, paseo, avenida, plaza, etc.) del sector. Por defecto la cadena se encuentra vacía. Únicamente proporciona información adicional a la hora de elaborar informes.
- **MINLUX:** *Valor entero.* Representa el valor de iluminancia mínima medida en dicho sector en lux (a la altura del techo del vehículo). El valor por defecto es -1.



## E. Legislación

### *Circulación*

- Ley 18/1989 de 25 de julio, de Bases sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial. (BOE núm. 178, de 27 de julio; corrección de errores en BOE núm. 75, de 28 de marzo).
- Real Decreto Legislativo 339/1990 de 2 de marzo, por el que se aprueba el texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial (BOE núm. 63, de 14 de marzo; corrección de errores en BOE, núm. 185, de 3 de agosto).
- Real Decreto 1428/2003, de 21 de noviembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Circulación para la aplicación y desarrollo del texto articulado de la Ley sobre tráfico, circulación de vehículos a motor y seguridad vial, aprobado por el Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

### *Uso de pantallas*

- Ley 19/2001, de 19 de diciembre, de reforma del texto articulado de la Ley sobre Tráfico, Circulación de Vehículos a Motor y Seguridad Vial aprobado por Real Decreto Legislativo 339/1990, de 2 de marzo.

### *Vehículos*

- Real Decreto 2822/1998, de 23 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento General de Vehículos. (BOE núm. 22, de 26 de enero de 1999; corrección de errores en BOE núm. 38, de 13 de febrero de 1999).

### *Compatibilidad electromagnética*

- Directiva 2005/83/CE, de la Comisión, de 23 de noviembre de 2005, por la que modifican, para su adaptación al progreso técnico, los anexos I, VI, VII, VIII, IX y X, de la Directiva 72/245/CEE, del Consejo, relativa a las interferencias de radio (compatibilidad electromagnética) de los vehículos.
- Directiva 89/336/CEE del Consejo de 3 de mayo de 1989 sobre la aproximación de las legislaciones de los Estados Miembros relativas a la compatibilidad electromagnética (la nueva Directiva 2004/108/CE sobre Compatibilidad



Electromagnética no entrará en vigor hasta el 20 de julio de 2007. Hasta esa fecha seguirá en vigor la Directiva 89/336/CE).

