

# Equipo dinámico de auscultación automática de señales de tráfico mediante visión artificial



Dynamic device for automatic auscultation of traffic signals by computer vision

Miguel Ángel SOTELO VÁZQUEZ

*Profesor del Departamento de Electrónica  
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alcalá*

Luis Miguel BERGASA PACUAL

*Profesor del Departamento de Electrónica  
Escuela Politécnica Superior. Universidad de Alcalá*

Emiliano MORENO

*3M España. Coordinador del proyecto*

Fernando SÁNCHEZ DOMINGUEZ

*Euroconsult*

Jose M<sup>º</sup> GARCÍA MARQUEZ

*Euroconsult*

Guadalupe BENITEZ MORA

*3M España*

David CALAVIA REDONDO

*Safecontrol*

## RESUMEN

*Consecuencia de la conveniencia de completar el conjunto de equipos disponibles para llevar a cabo la auscultación dinámica de los equipamientos viales, y en particular la señalización de carreteras, a principios de 2006, habida cuenta de la manifiesta necesidad técnica, se inician en la Universidad de Alcalá (UAH) los trabajos de investigación para desarrollar un sistema que permita evaluar la visibilidad nocturna de una señal de tráfico en modo dinámico. Para la realización del proyecto, en consecuencia, se acordó constituir un "grupo técnico de colaboración" con diferentes partes interesadas; cada una de ellas de reconocido prestigio en sus campos de acción tales como la Universidad de Alcalá, Euroconsult, 3M y Safecontrol.*

*El resultado de esta colaboración es el equipo VISUALISE ("VISUAL Inspection of Signs and panEls"), un equipo dinámico de auscultación montado sobre un vehículo capaz de realizar labores de inspección a velocidades convencionales. VISUALISE permite la mejora del conocimiento del estado en el que se encuentra la señalización de las redes de carreteras, posibilitando así la capacidad de planificar las actuaciones (sobre la base de la toma de decisiones apoyadas en datos suficientes y de calidad), y con ello contribuir de manera sostenida a la mejora de la seguridad vial.*

*Palabras clave: Señalización vertical, Auscultación, Evaluación, Auscultación dinámica, Señal de tráfico, Retrorreflexión.*

**ABSTRACT**

*As a consequence of the necessity of completing the set of devices available for road infrastructure inspection, in particular road signalization, in 2006 the University of Alcalá started a research project with the goal of developing a system capable of providing dynamic visibility assessment of traffic signs and panels at nighttime. Accordingly, a collaboration technical consortium was set up that incorporated recognized and prestiged companies in the road safety and inspection industries, such as Euroconsult, 3M, and Safecontrol, together with the University of Alcalá.*

*The result of this collaboration is "VISUALISE" (VISUAL Inspection of Signs and panEls), a dynamic inspection system mounted onboard a vehicle that can perform inspection tasks at conventional driving speed. VISUALISE allows for an improvement in the awareness of roads signalling state, supporting planning and decision making on the administration and infrastructure operators' side. This will definitely increase road safety.*

**Key words:** *Traffic signals, Auscultation, Evaluation, Dynamic auscultation, Traffic sign, Retroreflection*

**C**onsecuencia de la conveniencia de completar el conjunto de equipos disponibles para llevar a cabo la auscultación dinámica de los equipamientos viales, y en particular la señalización de carreteras, a principios de 2006, habida cuenta de la manifiesta necesidad técnica, se inician en la Universidad de Alcalá (UAH) los trabajos de investigación para desarrollar un sistema que permita evaluar la visibilidad nocturna de una señal de tráfico en modo dinámico.

Culminar con éxito un proyecto de este calado requiere formar un equipo de trabajo multidisciplinar con el fin de poder resolver, eficazmente, las diferentes cuestiones y dificultades técnicas que caracterizan estos desafíos tan complejos. Para la realización del proyecto, se acordó constituir un *grupo técnico de colaboración* con diferentes partes interesadas; cada una de ellas de reconocido prestigio en sus campos de acción. El citado grupo de interés, que se encuentra *activo*, lo forman:

- Profesores investigadores (titulares de universidad) del Departamento de Electrónica de la UAH, y
- Expertos de las compañías: Euroconsult, 3M y Safecontrol.

El despliegue del proyecto, como resulta característico en este tipo de investigaciones aplicadas, se ha realizado en cuatro fases:

- Estudio de viabilidad: culminado con éxito en verano de 2007.
- Desarrollo del sistema de medida (grabación, procesamiento y postprocesado de imágenes) en continuo: finalizada en primavera de 2008.

- Puesta en marcha del equipo: realizada en verano de 2008, sobre un proyecto real.
- Mejora: fase de trabajo continua que se ha programado para estar finalizada en Junio de 2009. No obstante, en este tipo de equipos se exige, al menos durante un periodo de tiempo prudencial (de 2 ó 3 años), buscar todas las vías posibles de mejora, tanto en aspectos relacionados con el programa informático como con el equipamiento informático si bien la versión que se lanza al mercado reúne todos los requisitos de comportamiento adecuados al fin que se persigue.

El fruto de este considerable trabajo, que hoy se presenta en este artículo, es el equipo de auscultación *VISUALISE (Equipo Dinámico de Auscultación Automática de Señales de Tráfico mediante Visión Artificial)*. Un equipo de auscultación dinámica para las señales de tráfico (incluyendo pórticos y banderolas) el cual, al ir montado sobre un vehículo (portador), permite llevar a cabo esta tarea a velocidades de circulación convencionales, lo que ofrece sin duda las siguientes ventajas técnicas (frente a las tradicionales técnicas de medida estáticas):

- Se elimina la presencia en las calzadas de las carreteras de vehículos y personas estacionadas en los alrededores de las posiciones de medida,
- Se evita la necesidad de manejo de elementos auxiliares aparatosos para la realización de las medidas (sobre todo, en el caso de pórticos y banderolas), y
- Se incrementa la rendimiento de las auscultaciones de las señales instaladas, con lo que puede aumentarse la frecuencia de los controles o la longitud de los tramos sometidos a estudio.



Foto 1. Equipo VISUALISE circulando por una carretera.

Todas estas ventajas conducen a otra más importante: la mejora del conocimiento del estado en el que se encuentra la señalización de las redes de carreteras, posibilitando así la capacidad de planificar las actuaciones (sobre la base de la toma de decisiones apoyadas en datos suficientes y de calidad), y con ello contribuir de manera sostenida a la mejora de la seguridad vial.

## DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

Hasta el momento la inspección y medida de la retroreflexión de la señalización vertical se viene realizando con equipos puntuales estáticos (*retroreflectómetros*) que requieren contacto con el elemento que se mide (o demandan, como es el caso de los más modernos, una distancia máxima, de muy pocos metros, al objetivo), con los inconvenientes que esto supone.

Es por ello que el equipo *Visualise* se ha desarrollado como una solución a la auscultación de la señalización vertical. Y, en este sentido hay que entenderlo: como un equipo que permite conocer, de acuerdo con la norma de carreteras correspondiente, el estado de las señales de tráfico (incluyendo pórticos y banderolas) en base a la medida de su visibilidad nocturna y la correspondiente adecuación a norma.

Este equipo de auscultación automática de señales y paneles de tráfico, se basa en la medida de retroreflexión y contraste de las señales y paneles utilizando iluminación activa infrarroja y cámaras de alta resolución (ver Foto 2). En consecuencia, la auscultación se realiza en condiciones nocturnas para garantizar que la principal fuente de luz, utilizada para la medida de la retroreflexión, es la generada por el iluminador infrarrojo del equipo; y, de esta manera, poder obtener la máxima homogeneidad de las condiciones de iluminación en diferentes carreteras y en días distintos.

El sistema y equipo desarrollado se basa en el principio de *retroreflexión de la luz*. Por este motivo, se utiliza como generador patrón un iluminador activo basado en luz infrarroja perfectamente caracterizado.

La incidencia de luz infrarroja sobre las señales de tráfico y paneles en condiciones nocturnas produce la reflexión de dicha luz sobre las señales y paneles. La luz así *retroreflejada* será captada por un sistema estereoscópico compuesto por dos cámaras de alta resolución.

De esta manera, el nivel de luminancia de las señales y paneles, medido por las cámaras en unidades de nivel de gris, es directamente proporcional al grado de luminancia de las señales y paneles medido en candelas por

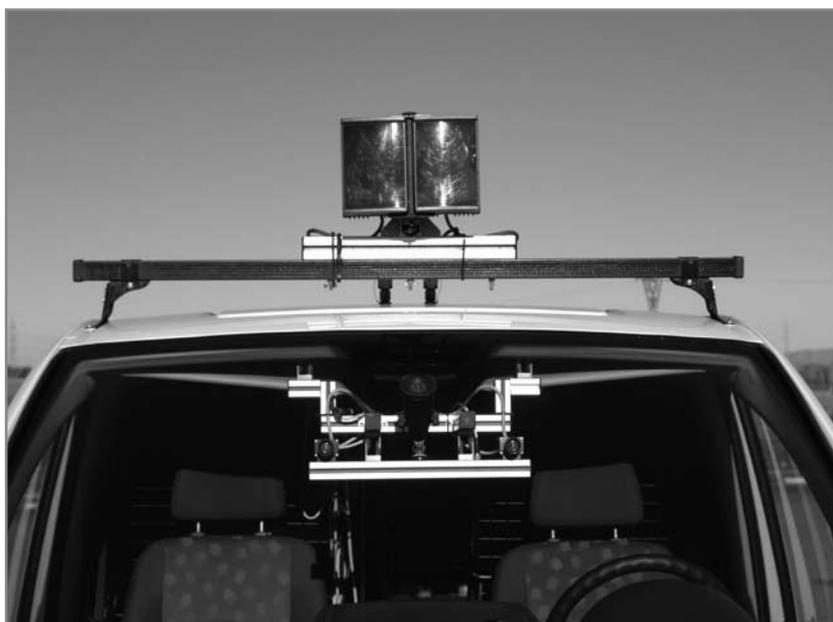


Foto 2. Cámaras digitales de alta resolución e iluminador infrarrojo, montados sobre el equipo.

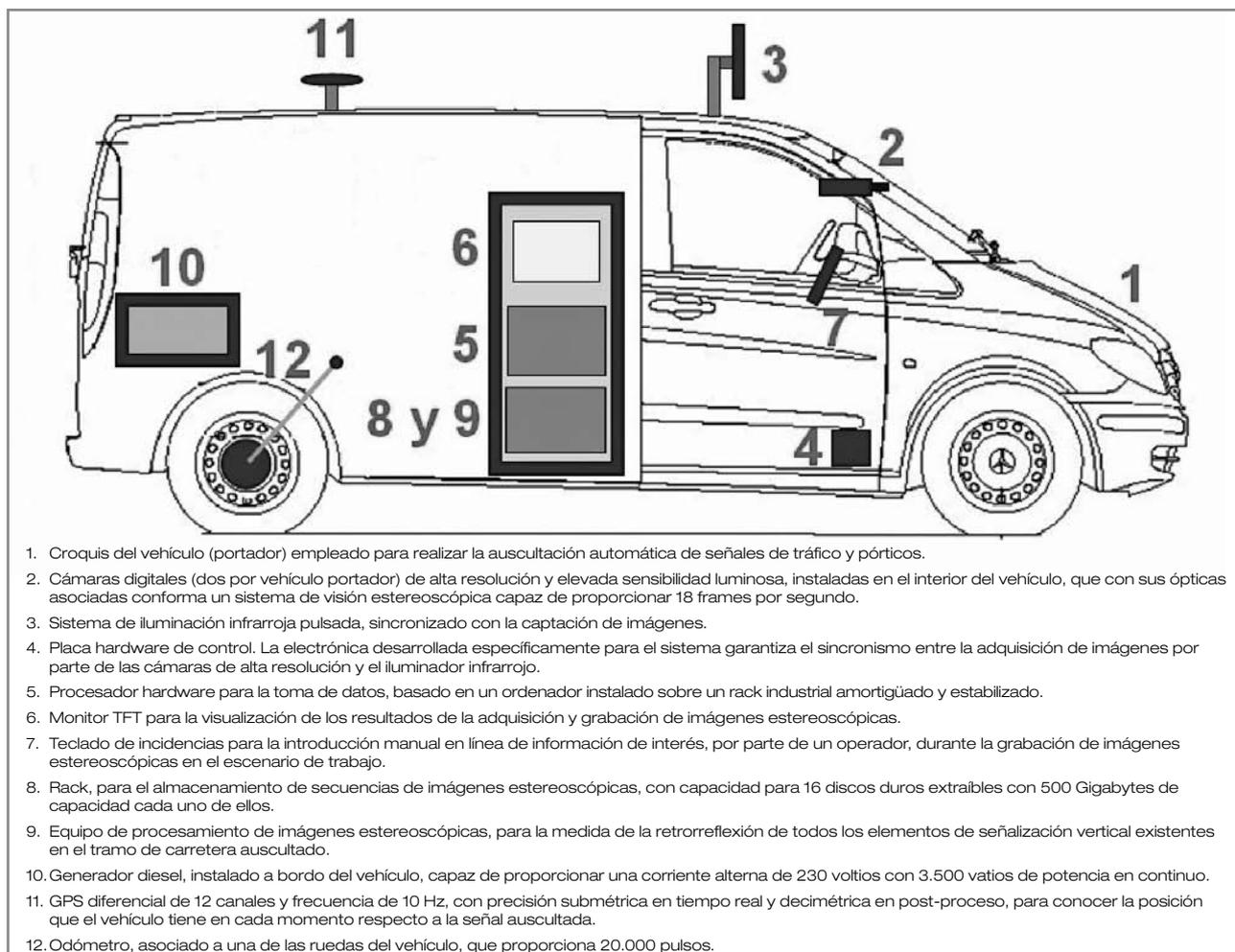


Figura 1. Componentes del equipo VISUALISE.

metro cuadrado ( $\text{cd}/\text{m}^2$ ). En función de las distancias y orientación angular existente entre la fuente patrón de luz, el material retroreflectante y el sistema de medida (ángulos de observación y de entrada) se define la relación (física) que aparece entre la medida de luminancia y la medida de retroreflexión. Dicha relación: *luminancia-retroreflexión*, se fija mediante un proceso de calibración previo.

Debido a ello, para cada señal y panel de tráfico detectado en la secuencia de imágenes, se realizan las medidas de distancia a la señal o panel, nivel de luminancia y nivel de retroreflexión. Esto permite construir, para cada elemento auscultado, una curva de luminancia y otra de retroreflexión en función de la distancia al punto más brillante de la señal: sus elementos de color blanco. Es necesario, por lo tanto, que el sistema de auscultación localice el color blanco dentro de cada señal (o panel) utilizando técnicas de procesamiento de imágenes. Así, los distintos elementos existentes en las señales y paneles (orla, texto-pictograma, fondo)

son separados automáticamente mediante procesamiento de imagen.

Esto permite realizar medidas independientes de luminancia y retroreflexión para cada parte de la señal o panel (orla, texto-pictograma, fondo). A partir de las medidas de luminancia y retroreflexión de cada parte de la señal (o panel), el sistema permite calcular (caso de ser necesario o así estar especificado en la normativa de carreteras correspondiente) el contraste, definido como: la relación de retroreflexión entre el fondo y la orla o entre el texto-pictograma y el fondo, dependiendo de cuáles sean los elementos clave para determinar la legibilidad de la señal de tráfico. Por su parte, dichos elementos (que hay que medir para determinar la legibilidad de la señal o panel) serán los especificados en la normativa de carreteras que se encuentre en vigor en cada caso.

El sistema de auscultación *Visualise*, se compone de varios elementos tanto de programas como de equipos informáticos, tal y como se aprecia en la Figura 1.

## PROCESO DE AUSCULTACIÓN

El proceso de auscultación consta de dos fases.

- **Proceso *en línea*:** en esta primera fase del proceso, se utiliza un vehículo operado por dos personas. El vehículo está equipado con todos los dispositivos y aplicaciones informáticas necesarias para realizar la adquisición y grabación en línea de secuencias de imágenes estereoscópicas de escenas de carreteras iluminadas, de forma activa, por el sistema de iluminación infrarroja instalado en el propio vehículo. Dichas secuencias de imágenes son almacenadas en discos duros sin ningún formato de compresión, para su posterior tratamiento y procesado en gabinete.
- **Proceso *fuera de línea*:** en esta segunda fase del proceso, que utiliza un equipo de procesado de imágenes basado en un ordenador personal, se introducen las secuencias de imágenes grabadas por el equipo que realiza el *proceso en línea*, generándose un informe que contiene la medida de retroreflexión (y de contraste, caso de ser necesario) de todas las señales y paneles existentes en el tramo de carreteras analizado.

### 1. Proceso “en línea”

El *proceso en línea* tiene por misión realizar la adquisición y grabación en disco duro de secuencias de imágenes estereoscópicas. Estas secuencias contienen imágenes de tramos de carreteras iluminados por el sistema de iluminación infrarroja instalado a bordo del propio vehículo de auscultación. Las cámaras se ubican en el interior del vehículo, centradas con respecto al eje longitudinal del mismo, y con una separación entre ambas superior a 35 centímetros para garantizar la máxima precisión en las medidas de profundidad (distancia) que se obtienen con las mismas, especialmente a largas distancias.

La ubicación de las cámaras y su apertura angular permite igualmente cubrir una zona mínima de visibilidad de 10 metros a la derecha y a la izquierda del eje longitudinal del vehículo, para distancias superiores a 20 metros con respecto al mismo. De esta forma, queda garantizada la visión en las imágenes de todas las señales y paneles de tráfico ubicados en la carretera objeto de la auscultación, incluso de aquellas situadas en los laterales de la calzada. Las cámaras, por su parte, son calibradas con unos valores fijos de ganancia y de apertura del “*Shutter*” (obturador).

El sistema de iluminación emite luz infrarroja con una potencia máxima de 60 W. Este nivel de potencia permite asegurar que no se produce ninguna perturbación

visual sobre otros conductores, que circulen en la misma carretera que el vehículo de auscultación pero en sentido opuesto. El sistema de iluminación infrarroja se ha configurado con una apertura angular de 30 grados, de forma que se alcanza un rango de iluminación máxima de 160 metros. Dicho sistema iluminador está instalado en el exterior del vehículo, sobre el techo del mismo, de forma que el eje longitudinal del iluminador es paralelo al eje longitudinal del vehículo y queda ubicado, por tanto, en una posición equidistante de las cámaras con el fin de garantizar que la iluminación de las imágenes de carretera es percibida, de forma prácticamente homogénea, por las dos cámaras.

El sistema iluminador es accionado mediante una señal de sincronismo externo. Esta señal de sincronismo permite garantizar que la iluminación de la escena de la carretera está perfectamente sincronizada con los instantes de adquisición de imágenes estereoscópicas por parte de las cámaras. La iluminación de la escena de carretera se produce en imágenes alternativas, de manera que el iluminador infrarrojo se activa en una de las imágenes adquiridas y se desactiva en la siguiente. Esto permite disponer de pares de imágenes estereoscópicas que contienen la escena iluminada y pares de imágenes que contienen la escena no iluminada. La señal de sincronismo externo es proporcionada por un sistema basado en una placa microcontroladora. Dicha señal de sincronismo se utiliza, por una parte, para sincronizar el sistema de iluminación infrarroja con las cámaras estereoscópicas, y por otra, para sincronizar entre sí los instantes de adquisición de imagen de las dos cámaras y evitar derivas temporales en los mismos.

A partir de esta secuencia de imágenes iluminadas de forma alternativa, se realiza la substracción de los valores de luminancia medidos por las cámaras en dos imágenes consecutivas. Mediante esta técnica de substracción se consigue minimizar el efecto de la iluminación ambiente sobre las medidas de luminancia, logrando que la práctica totalidad de la luminancia de las señales y paneles medida por las cámaras se deba a la iluminación emitida por el propio vehículo (faros del vehículo e iluminador infrarrojo). Esta novedosa técnica garantiza la máxima homogeneidad en las condiciones de medición de luminancia.

Durante esta fase del *proceso en línea*, se utiliza una pantalla táctil que realiza las funciones de teclado de referencias. Con ella uno de los operadores puede incorporar (manualmente) información relativa, por ejemplo, al punto kilométrico (PK) o el tipo de vía en el que se encuentra el vehículo de auscultación durante la grabación de secuencias de imágenes estereoscópicas, con

el fin de que sea tenida en cuenta en el posterior tratamiento y procesado de las imágenes.

El procesador a bordo del vehículo de auscultación recibe las imágenes del sistema estereoscópico, las coordenadas proporcionadas por el receptor GPS, la medida de distancia proporcionada por el odómetro y la información proporcionada por el teclado de incidencias. Toda esta información es estructurada y almacenada en disco duro para cada par de imágenes. De esta forma, toda la información recibida por el procesador es almacenada en los discos duros del equipo con una frecuencia mínima de 18 veces por segundo.

Durante el proceso de adquisición y grabación de secuencias de imágenes estereoscópicas, el procesador muestra en la pantalla del operador las imágenes adquiridas por el sistema estereoscópico, proporcionando un indicador sobre el correcto funcionamiento del equipo, así como un segundo indicador que muestra la frecuencia real de grabación de imágenes en disco duro. Sobre el procesador, se ejecuta una aplicación informática que proporciona un entorno gráfico con el que el operario puede gestionar los nombres y ubicación en disco duro de las secuencias estereoscópicas que se adquieren durante el proceso de grabación (ver Foto 3).

Cada disco duro extraíble tiene capacidad para almacenar aproximadamente 2,5 horas de secuencias en carretera. Debido a las condiciones en las que debe funcionar el sistema (en el interior de un automóvil en marcha), todo el sistema debe ser resistente a vibraciones y presentar un buen aislamiento térmico y mecánico. Por este motivo, el equipo informático de adquisición y grabación de secuencias de imágenes estereoscópicas, así como el sistema de almacenamiento, están instalados sobre un rack industrial amortiguado y estabilizado frente a vibraciones. Durante el proceso de grabación, el vehículo puede circular con normalidad hasta 120 km/h o a la máxima velocidad establecida para la vía en cuestión, en función de las normas de tráfico vigentes.

Se deberá utilizar el carril derecho como carril de medida con el fin de:

- mantener el ángulo de entrada de la luz reflejada por las señales y paneles;

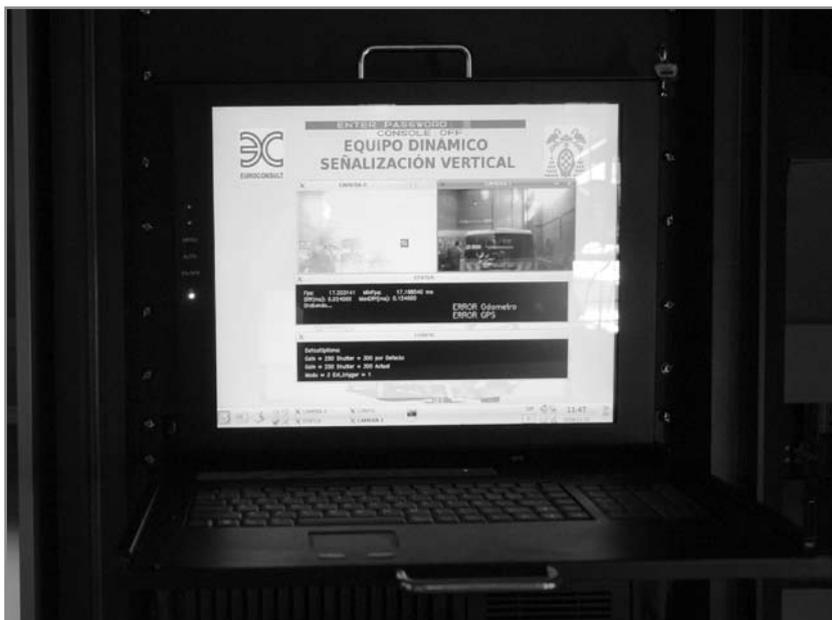


Foto 3. Pantalla de seguimiento del proceso de adquisición y grabación de secuencias de imágenes. VISUALISE.

- no exceder los valores máximos utilizados para la calibración de los materiales estándar; y
- para garantizar que las señales y paneles son iluminados correctamente por el iluminador infrarrojo.

Los ficheros generados por el procesador a bordo del vehículo de auscultación constituyen la información de entrada para la realización del *proceso fuera de línea*.

## 2. Proceso “fuera de línea”

El *proceso fuera de línea* toma como entrada los ficheros generados por el procesador a bordo del vehículo. Dichos ficheros contienen secuencias de imágenes estereoscópicas, coordenadas GPS, medidas de distancia proporcionadas por el odómetro e información proporcionada por el operario desde el teclado de referencias (PK, tipo de vía, etc.). A partir de toda esta información se realiza el procesado de las imágenes contenidas en las secuencias para efectuar la búsqueda de señales y paneles de tráfico, así como las correspondientes medidas de retrorreflexión y contraste (caso de ser necesario).

La primera fase del sistema de procesado de imagen consiste en detectar la ubicación de las señales y paneles de tráfico existentes en los tramos de carretera grabados. Para ello se emplea la *transformada de Hough para círculos*, que permite detectar señales circulares en las imágenes, incluyendo la señal de *Stop*, así como la *transformada de Hough para rectas*, para detectar

las señales triangulares, cuadradas, flechas y paneles. Posteriormente se hace uso del sistema estereoscopio, previamente calibrado, junto a la información proporcionada por el odómetro para medir la distancia relativa entre el vehículo y la señal y/o panel detectado.

Igualmente, haciendo uso del sistema estereoscópico se mide la altura y distancia lateral de la señal o panel, con respecto al eje longitudinal del carril por el que circula el vehículo. La información relativa a la altura y distancia lateral de la señal detectada permite eliminar posibles falsas medidas utilizando, como información clave para el filtrado de las mismas, los valores geométricos estandarizados por la correspondiente normativa de carreteras.

Cada señal y panel detectado es posteriormente analizado para clasificarlo en una de las siguientes categorías:

- Señal de Stop.
- Señal circular con fondo blanco.
- Señal circular con fondo azul.
- Señal triangular.
- Señal cuadrada con fondo blanco.
- Señal cuadrada con fondo azul.
- Panel con fondo blanco.
- Panel con fondo azul.

Para cada tipo de señal y panel se lleva a cabo un proceso de segmentación o separación de los elementos fundamentales que constituyen las mismas, estableciendo como tales el fondo de la señal o panel, la orla de las señales y el texto-pictograma de la señal o panel. En cada uno de los elementos (orla, fondo-pictograma, texto) se calcula el valor medio de luminancia medido por la cámara en escalas de grises. La medida de luminancia y distancia de los diversos elementos

(orla, fondo-pictograma, texto) se realiza para cada señal y panel detectado, en todas las imágenes analizadas, lo que permite obtener una curva de luminancia (medida en niveles de gris) en función de la distancia (medida en metros).

Para el citado análisis se emplea una novedosa técnica de "backtracking"<sup>(a)</sup> que permite conseguir medidas de luminancia hasta 100 metros, para el caso de señales, y hasta 170 metros para el caso de paneles.

Las curvas de luminancia en función de la distancia, obtenidas para cada elemento clave de la señal o pórtico, se convierten a curvas de retrorreflexión en función de la distancia. Para ello se emplean unas superficies de conversión que toman como valores de entrada la luminancia medida por el sistema de cámaras y la distancia entre las cámaras, y la señal o panel, y proporciona como salida el valor estimado de retrorreflexión para dicho elemento.

Para llevar a cabo esta conversión (de luminancia a retrorreflexión), se utilizan tres curvas, una para cada clase característica de material retrorreflectante con el que puede estar construida la señal o panel: nivel 3, nivel 2 o nivel 1. La curva asignada a cada señal o panel será aquella para la que se obtiene un mejor ajuste de las tres hipótesis posibles. Las curvas de conversión, por su

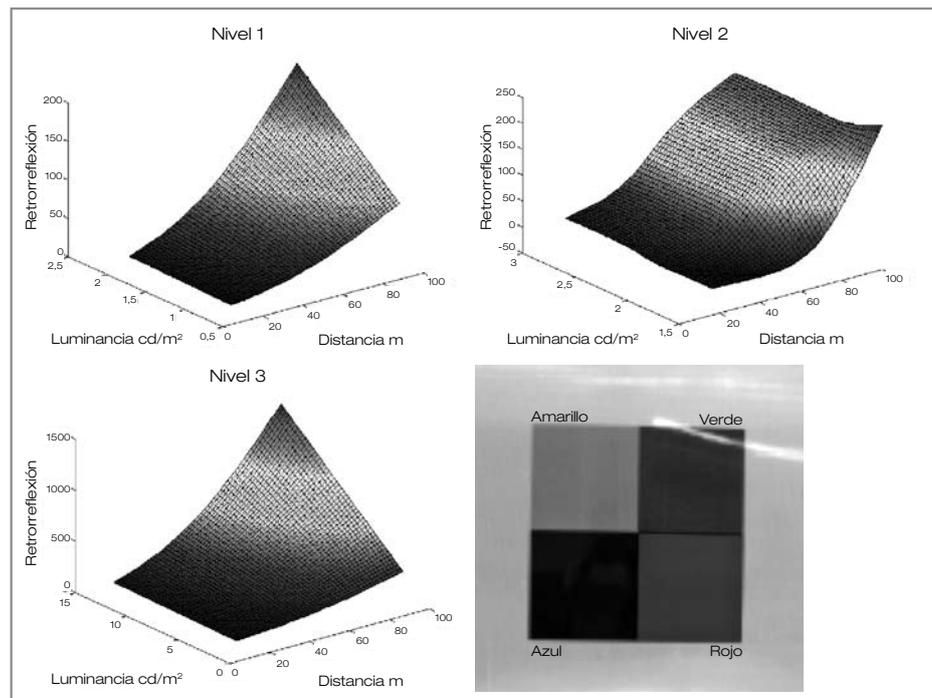
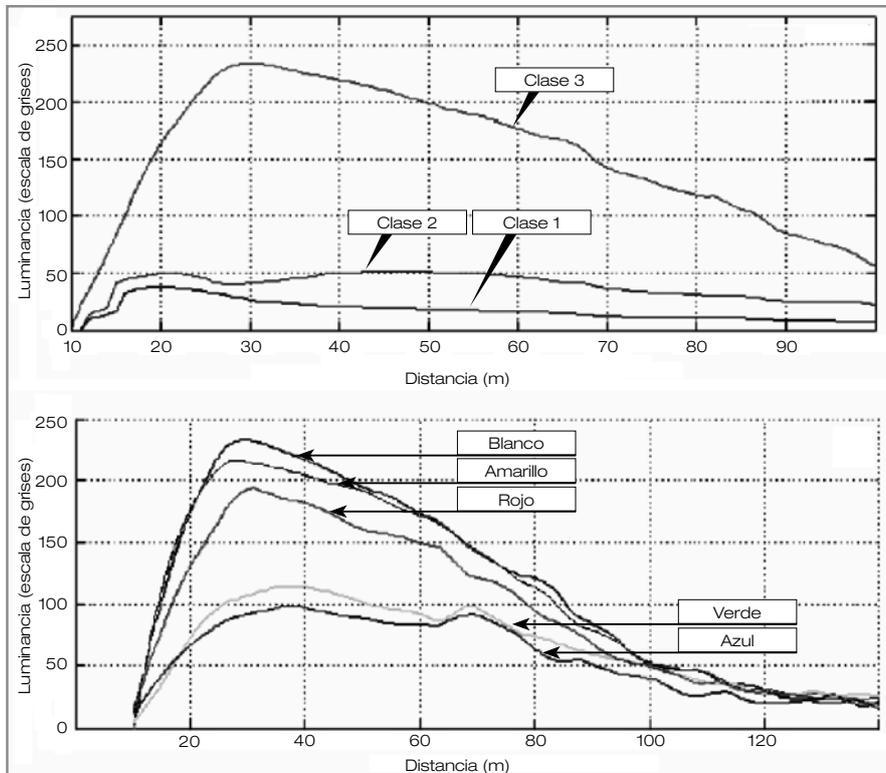


Figura 2. Curvas de calibración obtenidas para los materiales nivel 1 (superior izquierda), 2 (superior derecha) y 3 (inferior izquierda); material patrón nivel 3 empleado (inferior derecha, con distintos colores).

(a) El "backtracking" consiste en analizar las secuencias de imágenes en sentido inverso al de grabación, en el propio escenario de trabajo. Esta técnica permite que el seguimiento en las imágenes de las señales y paneles detectados pueda realizarse hasta distancias mucho más elevadas que las que se consiguen mediante los procedimientos habituales de seguimiento en secuencias de vídeo.



**Figura 3.** Curvas de luminancia medidas para el color blanco de los tres materiales empleados en la calibración (gráfica superior); curvas de luminancia medidas para los diferentes colores presentes en el material nivel 3 (gráfica inferior).

parte, se obtienen en un proceso de calibración realizado fuera de línea, con anterioridad al inicio de la medida.

En la Figura 2 puede apreciarse el perfil de las curvas de conversión obtenidas para los 3 niveles de material retrorreflectante, así como el aspecto del material patrón nivel 3 utilizado en la calibración.

Para la calibración de las curvas de conversión se utilizan tres señales patrón con valores de retrorreflexión conocidos, construidas con materiales de nivel 3, nivel 2 y nivel 1, respectivamente. Para cada una de las señales patrón se realiza un proceso de adquisición y grabación de imágenes empleando el vehículo de auscultación y todo el instrumental a bordo del mismo. La Figura 3, por su parte, ilustra los resultados medidos en un experimento real de calibración. La gráfica que aparece en la parte superior de la Figura 3 muestra las curvas de luminancia (en niveles de gris) obtenidas para el color blanco de los tres materiales empleados en el proceso de calibración. La parte inferior de la misma figura, muestra las curvas de luminancia (en niveles de gris) obtenidas para los diferentes colores presentes en el material de nivel 3 utilizado.

Para la calibración, el centro de gravedad de las señales patrón se instala a 2,5 metros de altura con respecto al

suelo. Durante el proceso de grabación de imágenes, el vehículo circula a lo largo de un carril cuyo eje longitudinal está a 5 metros de distancia lateral con respecto al centro de gravedad de la señal patrón utilizada. El vehículo comienza a circular a una distancia de 200 metros de la señal patrón, avanzando hacia la misma, y se detiene cuando la señal desaparece del campo de visión de las cámaras. Las imágenes adquiridas y grabadas durante el proceso de calibración son procesadas para obtener las curvas de luminancia en función de distancia para las tres señales patrón.

Los valores de las correspondientes curvas de conversión se obtienen a partir de las curvas de luminancia, obtenidas para las tres señales patrón durante el proceso de calibración, y de la información de los valores del coeficiente de retrorreflexión, medidos en laboratorio a las distancias de 16'5, 23'0, 34'0, 67'0, 100'0 y 166'0 metros, de cada una de las tres señales patrón.

La utilización de las curvas de conversión permite obtener curvas de retrorreflexión en función de distancia, a partir de las curvas de luminancia. En la Figura 4 se muestra un ejemplo de curva de retrorreflexión obtenida para el material de nivel 3 tras el proceso de calibración. La curva de retrorreflexión estimada por el modelo aparece con puntos, mientras que la curva de retrorreflexión real medida se muestra mediante guiones.

El valor del coeficiente de retrorreflexión del elemento blanco de la señal o panel, medido a 100 metros, se corresponde con la medida normalizada para 5 grados de ángulo de entrada y 0,33 grados de ángulo de observación (dada la geometría de ubicación de las cámaras y el sistema de iluminación infrarroja en el vehículo). Será esta medida, de la retrorreflexión registrada a 100 metros, la que se utilizará para determinar la *aceptación* o *rechazo* de la señal de tráfico en función del nivel de retrorreflexión correspondiente (al compararlo con el que se especifica en la norma de carreteras que sea de aplicación).

Como se ha indicado con anterioridad, la medida a 100 metros de la retrorreflexión de otros elementos

de la señal o panel, tales como la orla o el texto-pictograma, permite también valorar la relación de contraste de retrorreflexión para el elemento blanco de la señal o panel, y el elemento clave de la señal o panel (orla o texto-pictograma, según sea el caso). Este valor de contraste será un indicador del nivel legibilidad de la señal de tráfico.

De este modo, los valores del coeficiente de retrorreflexión medidos a las distancias de 16'5, 23'0, 34'0, 67'0 y 100'0 metros pueden compararse con los valores de retrorreflexión para dichas distancias establecidos en la normativa para los materiales de nivel 3, nivel 2 y nivel 1. Este proceso de comparación (entre las curvas de retrorreflexión real y teórica, para cada nivel de material retrorreflectante), permite determinar si la señal o panel auscultado es del nivel requerido por la normativa de carreteras, que sea de aplicación, en función del tipo de vía en el que se encuentra ubicada la señal de tráfico.

Finalmente se determina si la señal o panel cumple o no con la norma establecida en función de la clase de la señal y del nivel de retrorreflexión, pudiendo valorarse, además, el contraste medido. El sistema genera un informe final que contiene, para cada señal o panel, la siguiente información decisiva:

- Curva de retrorreflexión en función de la distancia,
- Retrorreflexión medida a 100 metros,
- Contraste a 100 metros,
- Tipo de vía,
- Punto kilométrico,
- Coordenadas GPS de la señal o panel,
- Altura con respecto al suelo,
- Distancia lateral con respecto al centro del carril por el que circula el vehículo de auscultación,
- Carretera en la que se ubica la señal de tráfico auscultada,
- Calzada,
- Carril,
- Clase de material de la señal o panel retrorreflectante.
- Tipo de señal o panel (circular, triangular, cuadrada, panel), y
- Cumplimiento o no con la norma de carreteras (que sea de aplicación), en función de la clase de la señal y nivel de retrorreflexión.

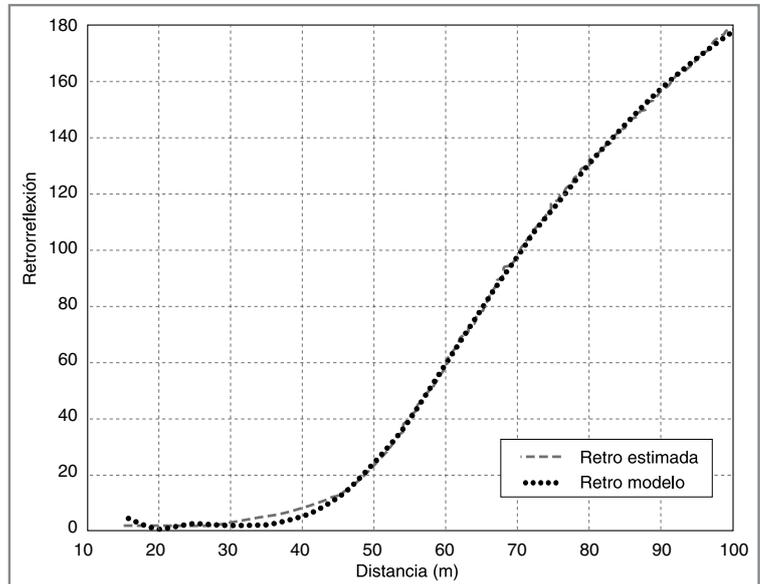


Figura 4. Curva (teórica) de retrorreflexión estimada para el nivel 2 (.....) utilizada como señal patrón en el proceso de calibración; curva de retrorreflexión (real) obtenida con VISUALISE para dicha clase (.....).

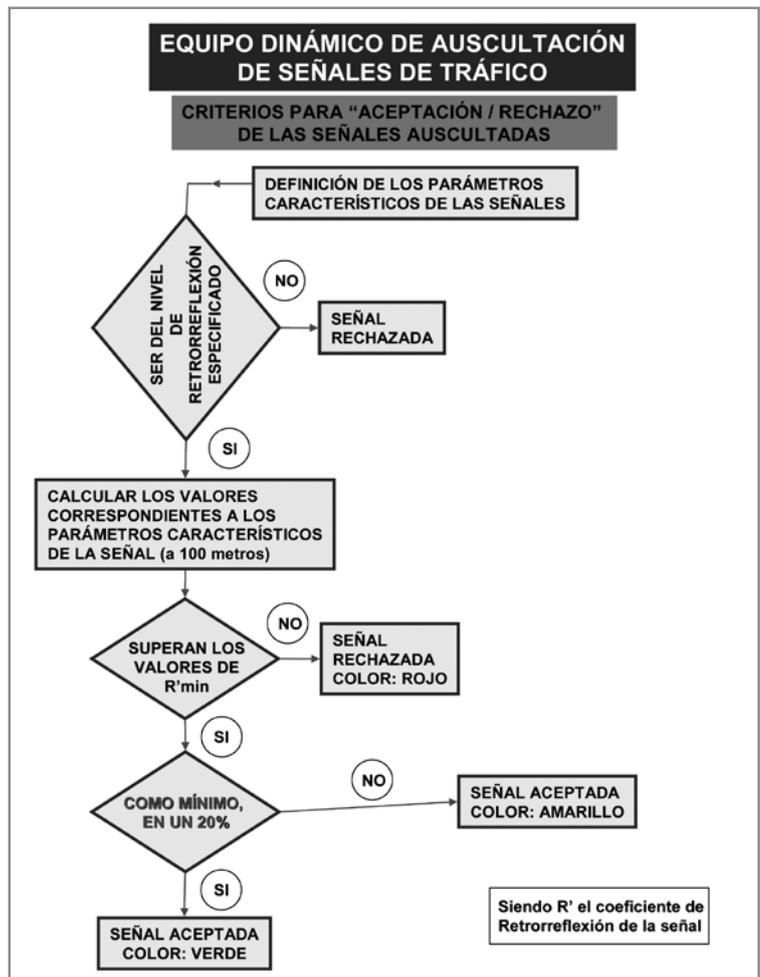


Figura 5. Flujo de decisión para la aceptación o rechazo de una señal de tráfico con VISUALISE.

Dicha información es gestionada a partir de una aplicación informática que gráficamente permite visualizar y manejar el contenido del informe generado para cada tramo de carretera analizado.

En la Figura 5 se ha resumido el flujo de decisión utilizado para la aceptación o rechazo de la señal de tráfico auscultada con *Visualise*.

## PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

Como resultado final de la medición, a partir de la información obtenida durante el proceso *fuera de línea* se genera una base de datos. El sistema *Visualise* ha sido diseñado para desplegar una capacidad de procesamiento 1:1, lo que significa que por cada hora de captación y grabación de imágenes es necesaria una hora de procesado.

En una de las tablas correspondientes se ordenan los datos generales referentes a la identificación de la captación y grabación, como son: la carretera, la calzada, la provincia, el punto kilométrico de inicio y fin de la captación y grabación de las imágenes, o la fecha en la que se realizó la misma. En la Figura 6 se muestra un ejemplo de este tipo de tabla.

| Id | Id_Campania | Nombre   | Nombre_Tramo | Carretera | PkInicio | PkFin     | Calzada | Tipo_Carretera | Fecha               | Id_Provincia |
|----|-------------|----------|--------------|-----------|----------|-----------|---------|----------------|---------------------|--------------|
| 1  | 1           | 1.esv002 | 28A0111      |           | 20 + 000 | 49 + 342  | 0       | AUTOV/AUTOP    | 04/09/2008 23:06:21 | 28           |
| 2  | 1           | 2.esv021 | 28A0211      |           | 21 + 000 | 121 + 181 | 0       | AUTOV/AUTOP    | 20/09/2008 23:07:05 | 28           |
| 3  | 3           | 3.esv004 | 28A0311      |           | 22 + 000 | 107 + 433 | 0       | AUTOV/AUTOP    | 12/09/2008 0:00:42  | 28           |

Figura 6. Ejemplo de tabla para la presentación de los datos generales referentes a la identificación de las imágenes captadas y grabadas. *VISUALISE*.

| Id | Id_Tramo | Codigo | Distancia | Origen_Ini | PKH | PKD     | Retrorreflexion | GPS_X    | GPS_Y | Clase_Asignada | Teorico1 | PasaNoPasa1 | Margen | Tipo_Detectado | Tipo_Asignado |
|----|----------|--------|-----------|------------|-----|---------|-----------------|----------|-------|----------------|----------|-------------|--------|----------------|---------------|
| 1  | 1        | 24     | 967       | 25         | 0   | 197,716 | -3,58117        | 40,5985  | 2     | 3              | -2       | -1          | 3      | 30             |               |
| 2  | 1        | 25     | 968       | 25         | 0   | 195,065 | -3,58093        | 40,59847 | 2     | 3              | -2       | -1          | 3      | 33             |               |
| 3  | 1        | 26     | 1037      | 25         | 55  | 186,328 | -3,58105        | 40,5991  | 2     | 3              | -2       | -1          | 3      | 30             |               |
| 4  | 1        | 27     | 1023      | 25         | 55  | 184,511 | -3,58099        | 40,59898 | 2     | 2              | 1        | 1           | 3      | 33             |               |
| 5  | 1        | 28     | 1073      | 25         | 104 | 87,826  | -3,58075        | 40,59838 | 1     | 2              | -2       | 1           | 1      | 10             |               |
| 6  | 1        | 31     | 1131      | 25         | 163 | 188,036 | -3,58067        | 40,5999  | 2     | 2              | 0        | 1           | 1      | 3              |               |
| 7  | 1        | 32     | 1156      | 25         | 194 | 124,145 | -3,58082        | 40,60013 | 1     | 3              | -2       | -1          | 3      | 30             |               |
| 8  | 1        | 33     | 1163      | 25         | 194 | 174,763 | -3,58058        | 40,60018 | 2     | 3              | -2       | 1           | 3      | 31             |               |
| 9  | 1        | 34     | 1221      | 25         | 252 | 183,311 | -3,58048        | 40,60067 | 2     | 2              | 0        | 1           | 1      | 3              |               |
| 10 | 1        | 35     | 1253      | 25         | 292 | 105,011 | -3,58093        | 40,60098 | 3     | 1              | 3        | -2          | 1      | 3              |               |
| 11 | 1        | 37     | 1261      | 25         | 292 | 180,778 | -3,58004        | 40,60105 | 2     | 3              | -2       | 1           | 3      | 31             |               |
| 12 | 1        | 38     | 1330      | 25         | 362 | 183,631 | -3,58027        | 40,60165 | 2     | 2              | 1        | 1           | 3      | 33             |               |
| 13 | 1        | 39     | 1391      | 25         | 422 | 186,287 | -3,58017        | 40,60217 | 2     | 2              | 1        | 1           | 1      | 10             |               |
| 14 | 1        | 40     | 1443      | 25         | 498 | 386,749 | -3,58018        | 40,60263 | 3     | 3              | 0        | 0           | 3      | 32             |               |
| 15 | 1        | 41     | 1456      | 25         | 488 | 635,868 | -3,58001        | 40,60275 | 3     | 3              | 1        | 0           | 3      | 32             |               |
| 16 | 1        | 42     | 1489      | 25         | 519 | 122,524 | -3,57996        | 40,60302 | 1     | 2              | -2       | 1           | 3      | 33             |               |
| 17 | 1        | 43     | 1518      | 25         | 550 | 186,053 | -3,57992        | 40,60333 | 2     | 2              | 1        | 1           | 1      | 10             |               |
| 18 | 1        | 45     | 1623      | 25         | 654 | 67,996  | -3,57978        | 40,60422 | 1     | 2              | -2       | 1           | 4      | 42             |               |
| 19 | 1        | 47     | 1696      | 25         | 837 | 102,403 | -3,57952        | 40,60563 | 1     | 2              | -2       | 1           | 1      | 10             |               |

Figura 7. Ejemplo de tabla con los datos particulares correspondientes a cada una de las señales de tráfico auscultadas. *VISUALISE*.

| Objeto    | Nombre  | Descripción | Modificado          | Creado              | Tipo                            |
|-----------|---|-------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION                  |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION CENTRO           |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION MARGEN DERECHO   |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION MARGEN IZQUIERDO |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO                      |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO CENTRO               |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO MARGEN DERECHO       |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO MARGEN IZQUIERDO     |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN RETRORREFLEXION CENTRO        |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN RETRORREFLEXION MARGEN DERE   |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN RETRORREFLEXION MARGEN IZQUI  |             | 27/11/2008 17:14:49 | 27/11/2008 17:14:49 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | LISTADO TOTAL DE SEÑALES NO CUMPLEN RETRORREFLEXION               |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION                         |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION CENTRO                  |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION MARGEN DERECHO          |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES CUMPLEN RETRORREFLEXION MARGEN IZQUIERDO        |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO                             |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO CENTRO                      |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO MARGEN DERECHO              |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |
| Consultas | NUMERO DE SEÑALES NO CUMPLEN POR TIPO MARGEN IZQUIERDO            |             | 27/11/2008 17:14:50 | 27/11/2008 17:14:50 | Consulta: Consulta de selección |

| MARGEN           | Id_Tramo | CARRETERA | Retrorreflexion | GPS_X    | GPS_Y    | Clase_Asignada | Teorico1 | PasaNoPasa1 | Tipo_Asignado | PKH | PKD |
|------------------|----------|-----------|-----------------|----------|----------|----------------|----------|-------------|---------------|-----|-----|
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 120,915         | -3,58815 | 40,69675 | 1              | 3        | -2          | 30            | 38  | 0   |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 186,328         | -3,58105 | 40,5991  | 2              | 3        | -2          | 30            | 25  | 55  |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 124,145         | -3,58082 | 40,60013 | 1              | 3        | -2          | 30            | 25  | 194 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 105,011         | -3,58063 | 40,60098 | 1              | 3        | -2          | 30            | 25  | 292 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 139,636         | -3,58255 | 40,6157  | 1              | 3        | -2          | 30            | 27  | 0   |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 181,382         | -3,58457 | 40,6204  | 2              | 3        | -2          | 31            | 34  | 648 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 130,585         | -3,6075  | 40,6862  | 1              | 2        | -2          | 33            | 33  | 99  |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 184,762         | -3,61098 | 40,67885 | 2              | 3        | -2          | 31            | 34  | 648 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 197,716         | -3,58117 | 40,5985  | 2              | 3        | -2          | 30            | 25  | 0   |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 138,27          | -3,58615 | 40,73533 | 1              | 2        | -2          | 33            | 43  | 0   |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 186,245         | -3,58783 | 40,74067 | 2              | 3        | -2          | 30            | 43  | 616 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 92,109          | -3,60047 | 40,75792 | 1              | 2        | -2          | 33            | 45  | 879 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 103,383         | -3,6156  | 40,78637 | 1              | 2        | -2          | 33            | 49  | 389 |
| MARGEN IZQUIERDO | 1A1      |           | 108,096         | -3,61097 | 40,67155 | 1              | 2        | -2          | 10            | 33  | 771 |

Figura 8. Ejemplos de consultas realizables a partir de la información filtrada que se incluye en las tablas de las Figuras 6 y 7. *VISUALISE*.

En otra tabla se muestran los datos particulares pertenecientes a cada una de las señales de tráfico incluidas en el tramo de carretera auscultado (y cuya información general se he mostrado en la tabla anterior); entre los citados datos particulares, se

incluye (para cada señal de tráfico): un identificador único; el punto kilométrico en el que se encuentra instalada; el margen (izquierdo, derecho o superior); las coordenadas GPS; el nivel de retrorreflexión; el tipo de señal (circular,

triangular, rectangular o flecha); el valor del coeficiente de retrorreflexión a 100 metros; y, por último, la valoración del resultado (*pasa/no pasa*) respecto a la correspondiente norma de carretera. En la Figura 7 se muestra un ejemplo de los datos aportados por esta tabla.

Además se dispone de otra serie de tablas que contienen información adicional de la medida, como: las referencias introducidas por el operador durante la toma de datos, o las propias curvas de retrorreflexión, en función de la distancia a la señal, obtenidas al tratar las imágenes y realizar la conversión *luminancia - retrorreflexión*.

En la misma base de datos también se aportan consultas que contienen filtrada la información de las tablas. Aunque el tipo de filtro aplicado puede ser muy variado, en las consultas se mostrará siempre, al menos, la información de las señales pertenecientes a un determinado margen (izquierdo, derecho o superior), o que superan

(o no) los valores umbrales del coeficiente de retrorreflexión (a 100 metros) establecidos por la normativa de aplicación para cada una de las señales de tráfico auscultada. En la Figura 8 se muestran algunos ejemplos de las consultas realizables y el contenido de información de las mismas.

Debido a la gran cantidad de información obtenida como resultado de la auscultación, el sistema dispone de una herramienta informática para la visualización de los resultados por parte del usuario final (*visor* de presentación de resultados). De este modo sencillo y práctico es posible observar, gráficamente, la mayor parte de los resultados. Esta herramienta carga los datos de la base generada en el procesado y los muestra ordenadamente. El citado

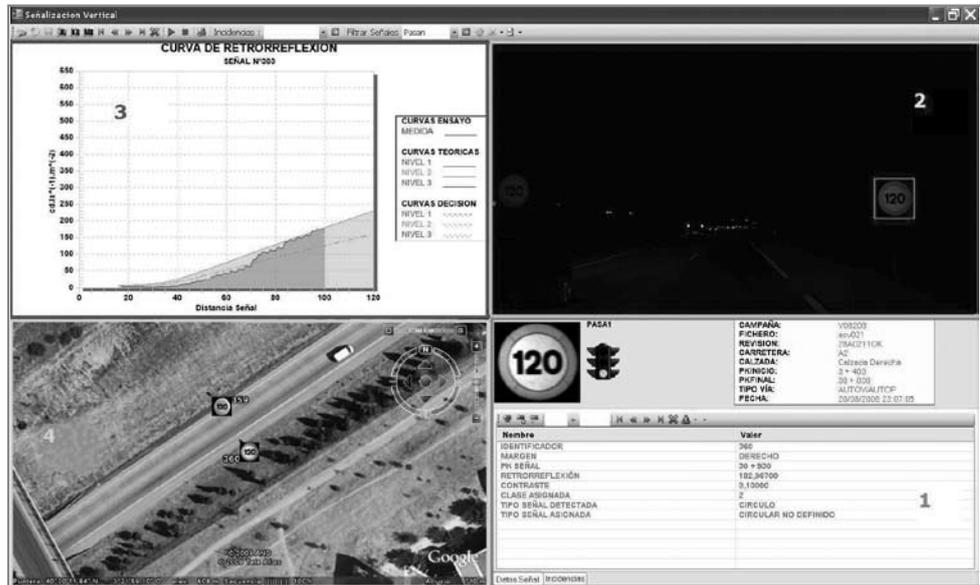


Figura 9. Ejemplo de visor para la presentación de los resultados (señal de tráfico: limitación de velocidad). VISUALISE.



Figura 10. Detalle del área de datos del visor para una señal. VISUALISE.

*visor* puede personalizarse de forma diferenciada para cada uno de los clientes finales (administración de carreteras correspondiente).

El programa informático de presentación de los resultados de la auscultación dispone de botones para avanzar las señales en el sentido de su captación y grabación, tanto en modo automático como manual. También se puede avanzar en la visualización señalando el punto kilométrico al que se desea ir. Además las señales visualizadas se pueden filtrar en función del resultado obtenido frente a la retrorreflexión, mostrando bien únicamente las señales que cumplen con el criterio establecido; bien las que no lo cumplen; o, por último, todas ellas.

En la Figura 9 se muestra el aspecto general del programa informático para la visualización de los resultados.

En la pantalla del programa informático (*visor*) se representa, en este caso particular, la información distribuida en varias áreas (1, 2, 3 y 4), tal y como se especifican a continuación.

En el *área de datos* (área 1, Figura 10) se incluye lo siguiente:

- Información general común a todas las señales: campaña, fichero, carretera, calzada, P.K. inicio y P.K. fin de tramo, tipo de vía y fecha en la que se realizó la captación y grabación correspondiente.
- Imagen de detalle de la señal auscultada.
- Datos particulares de la señal: identificador, margen, P.K., valor del coeficiente de retrorreflexión a 100 metros, valor de la relación de contraste (sólo si se está especificado en la norma de carretera que sea de aplicación), clase asignada a la señal (en base al nivel de retrorreflexión), tipo de señal detectada y tipo de señal asignada.
- Valoración del resultado del ensayo sobre el cumplimiento (*pasa/no pasa*) respecto a los requisitos de la norma de carreteras. Con una *Luz Verde* en el semáforo (que en este caso particular es de tres luces, en vez de cuatro), se indica



Figura 11. Detalle correspondiente al área de imagen panorámica del visor. VISUALISE.

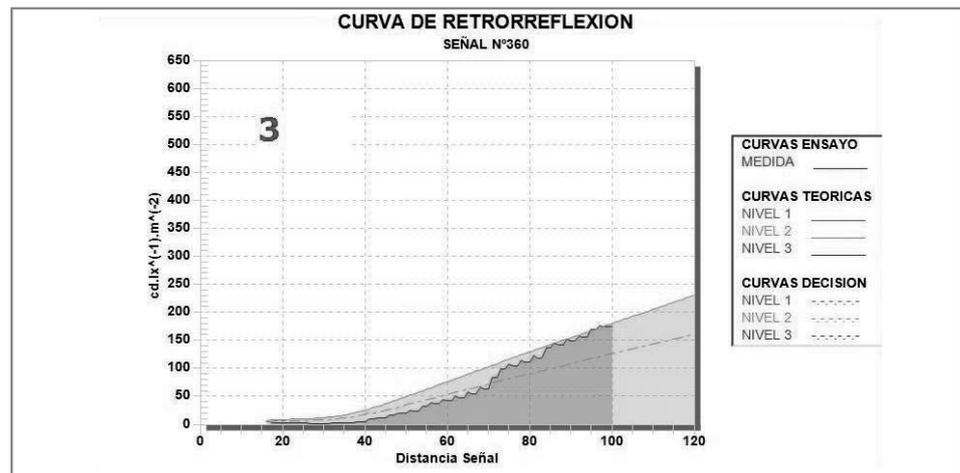


Figura 12. Detalle del área de presentación del resultado en el visor. VISUALISE.



Figura 13. Detalle del área de posicionamiento que se incluye en el visor de presentación de los resultados. VISUALISE.

que la señal cumple con todos los requisitos: es del nivel de retrorreflexión que exige la norma, y el valor del coeficiente de retrorreflexión (a 100 metros) es superior al valor mínimo especificado en la citada norma de carreteras; con una *Luz Amarilla*, se indica que el valor del coeficiente de retrorreflexión (a 100 metros) está situado entre el valor mínimo de la norma y un 20% superior; finalmente, con una *Luz Roja* se indica que la señal no cumple con la especificación relativa a retrorreflexión, bien por ser de una clase inferior (a la especificada), bien por estar por debajo del valor del coeficiente de retrorreflexión exigido a 100 metros, para ese tipo de señal.

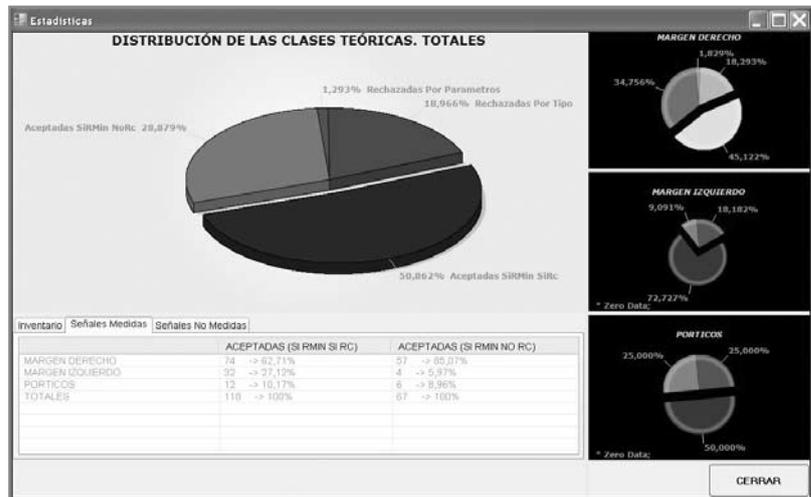


Figura 14. Informe de presentación de estadísticas del tramo auscultado generado directamente desde el visor de resultados. VISUALISE.

En el *área de imagen panorámica* (área 2, Figura 11), por su parte, se presenta una imagen panorámica de la carretera con *enmarcado* de la señal objeto de auscultación.

En el *área de resultado de la auscultación* (área 3, Figura 12) se incluyen, a su vez, las curvas de los valores de retrorreflexión frente a la distancia, de la señal objeto de la auscultación. En particular, en la actual versión del visor pueden observarse tres curvas: la teórica, definida para esa clase de señal; la del resultado de la auscultación, construida a partir de las curvas de conversión *luminancia - retrorreflexión*; y, por último, la de decisión para valorar la anterior (*pasa: está por encima dentro del intervalo de interés / no pasa: al contrario*).

Finalmente, en el *área de posicionamiento* (área 4, Figura 13), se presenta la imagen de la señal objeto de la auscultación sobre una imagen aérea de la zona del tramo ensayado. La señal podría situarse en planta sobre cualquier cartografía convenientemente georreferenciada.

Por último, el programa informático de visualización de resultados dispone de una ventana en la que se muestran estadísticas del tramo de carretera auscultado. Estas estadísticas son un resumen general de los resultados obtenidos. En ellas, se exponen los datos relativos al número de señales existentes en el tramo y a su distribución en la calzada (inventario). También se exponen los datos referentes al estado de las señales frente a la retrorreflexión. Estos datos se pueden distribuir tanto en función de la posición (margen o pórticos) como en función del tipo de señal (código o informativa: cartelería). En la Figura 14 se muestra un ejemplo de presentación de resultados a partir de la información recogida y tratada (*fuera de línea*) con el sistema *Visualise*.

Para eliminar del informe final aquellos datos que podrían alterar los resultados (carteles publicitarios, señalización de obra, etc.), el programa informático desarrollado permite realizar, de forma manual, un postprocesado de la información.

El equipo de auscultación *VISUALISE* supone un salto cualitativo, y cuantitativo, en la evaluación del nivel de servicio de la señalización vertical de carreteras (Foto 4). En este sentido está llamado a servir de revulsivo para mejorar el nivel de servicio de las señales de tráfico.



Foto 4. El equipo de auscultación *Visualise* supone un salto cualitativo y cuantitativo en la evaluación del nivel de servicio de la señalización vertical.

La mejora del conocimiento sobre el estado de las señales en la red viaria, con un nivel de fiabilidad adecuado a su función (la auscultación de las señales de tráfico), permitirá planificar de manera más eficiente las operaciones de conservación y, en consecuencia, optimizar los presupuestos dedicados a este fin; a la vez que se podrá contribuir, de manera notable, a la mejora de la seguridad vial en las carreteras. □