

NOVEDADES EN LA MEDIDA DE LA VISIBILIDAD NOCTURNA DE LA SEÑALIZACIÓN. APLICACIÓN A LAS AUDITORÍAS DE SEGURIDAD VIAL

Fernando Sánchez Domínguez & José Antonio Ramos García

EUROCONSULT NUEVAS TECNOLOGÍAS, S.A.

28700 San Sebastián de los Reyes – Madrid (España)

fsanchezd@euroconsult.es & jramosg@euroconsult.es

Gernot Sauter

3M Deutschland GmbH, Carl-Schurz-Str. 1, D-41453 Neuss, Germany

gsauter@mmm.com

RESUMEN

Incrementar la seguridad usuarios es una tarea esencial en la gestión de una red de carreteras. Cualquier gestor encargado del mantenimiento y explotación debe de diagnosticar aquellos problemas que puedan afectar a la seguridad de los conductores.

Sin embargo, la decisión más importante que un ingeniero debe tomar es cómo y cuándo debe actuar de forma eficaz y para poder tomarla debe contar información precisa sobre el estado real de la carretera. Entre todas las posibilidades actuaciones a tomar es vital la evaluación y el análisis del estado de la señalización vertical instalada ya que hay una interrelación directa con el usuario de la vía y su seguridad.

En Europa así como en otros continentes se están marcando objetivos que ayuden a mejorar la seguridad de la carretera, centrados estos en la obtención de una buena visibilidad de la señalización vertical para evitar accidentes.

Resulta vital que las señales de tráfico sean visibles de día desde una determinada distancia pero sobretodo deben serlo de noche, y para ello el control de calidad de la señalización es extremadamente importante. Las señales de tráfico al estar fabricadas de láminas retrorreflectantes disminuyen sus propiedades de visibilidad con el paso del tiempo, por lo que es necesario realizar controles periódicos de su estado.

Hasta el momento la inspección y medida de la retrorreflexión de las señales se ha efectuado mediante equipos estáticos (retrorreflectómetros) con los que se muestrea un reducido número de señales y paneles en un tramo de carretera, para posteriormente extrapolar los resultados a toda la carretera. Sin embargo este método puede llevar a tomar decisiones equivocadas y no resulta muy eficaz.

La comunicación presenta un sistema desarrollado para solucionar los problemas de inspección de la señalización vertical enfocado a la seguridad de los conductores. Se trata de una herramienta que nos permite conocer el estado de la señalización y el cálculo de su retrorreflexión, de acuerdo con la normativa de aplicación en los distintos países

El sistema que se presenta es un método dinámico de inspección de la señalización que permite las tareas de auscultación a la velocidad del tráfico utilizando técnicas de visión artificial. No solo es posible un mejor conocimiento sobre el estado de la señalización de una red de carreteras, sino que permite la mejora al poder planificar la conservación en base a criterios de seguridad vial. Al responsable de la vía le permite tomar decisiones sobre la gestión de la conservación.

1. OBJETO DE LA SEÑALIZACIÓN VERTICAL

El objeto de la señalización vertical es mantener la seguridad, la eficiencia y la comodidad de la circulación, tanto en condiciones nocturnas como diurnas. La señalización vertical nos tiene que advertir de los peligros y proporcionar información precisa. Por tanto las señales, deben ser visibles y debemos de ser capaces de leer su mensaje en condiciones diurnas pero sobre todo en condiciones nocturnas.

La visibilidad de la señal será función de su localización, del estado de conservación o limpieza, del tipo de material y del tamaño, de la agudeza visual del conductor, y de si el entorno está iluminado o no. La visibilidad debe asegurarse con iluminación difusa cuando es diurna o con la de los propios faros del conductor cuando es nocturna.

En cualquier caso, como las condiciones nocturnas son las más exigentes, se debe de asegurar a largo plazo la visibilidad de la señalización manteniendo unos valores de retrorreflexión mínimos.

2. MANTENIMIENTO Y CONTROL DE LA SEÑALIZACIÓN VERTICAL

La publicación 'Maintaining Traffic Sign Retroreflectivity' [1] de la Federal Highway Administration (FHWA) describe una variedad de sistemas y métodos utilizados normalmente para gestionar la señalización y para mantener los niveles de retrorreflexión de las señales, que son:

2.1. Control, inspección o valoración visual durante la noche con un inspector capacitado

En este caso el inspector debe disponer y asociar o señales patrón o láminas patrón, para utilizarlos como comparación frente a la señal instalada.

Si se utiliza este procedimiento es necesario mantener las mismas condiciones, controlando los faros del vehículo que se emplea, utilizando luz de cruce, empleando formularios estandarizados y circulando a la velocidad de circulación normal para la vía inspeccionada.

Con este método las señales de la carretera se evalúan frente a los patrón (que deberán tener retrorreflexiones similares a un umbral mínimo o establecido) y es conveniente también mantener las condiciones para las que se han calculado las retrorreflexiones mínimas (inspector de edad madura, utilizar un turismo y luces cortas ajustadas en intensidad).

Como ventaja de este método se puede considerar que la señalización efectivamente se evalúa en condiciones reales y la medida es en condiciones nocturnas, pero sin embargo se trata de un método muy subjetivo.

2.2. Medida con retrorreflectómetro sobre la propia señal del valor de la retrorreflexión con los ángulos de incidencia y de observación que estén marcados en la normativa.

Este método es totalmente objetivo y realmente es el que se utiliza también en laboratorio para aceptar los materiales retrorreflectantes. Sin embargo, es un método laborioso, además de peligroso para la seguridad vial, y al que hay que dedicar recursos y utilizar

elementos auxiliares, en especial cuando se desea realizar la medida de los pórticos y banderolas. Además, en este método se obvian otros atributos asociados a la visibilidad o legibilidad de las señales, al tratarse de una medida puntual en un espacio muy reducido.

Para este método suelen existir normativas nacionales que establecen el número de puntos a ensayar en la señal y las anotaciones a realizar sobre el estado general de las señales inspeccionadas. (arañazos, golpes, corrosión, etc....)



Figura 1. Medida con retroreflectómetro puntual.

2.3. Método basado en el análisis de la vida útil.

En este método se analiza la vida útil estimada de un determinado tipo de lámina en una región o zona, realizando la sustitución en función de la estimación efectuada para cada tipología de señal. La base para el cálculo de la vida útil será el plazo de garantía del fabricante y los ensayos de envejecimiento natural.

Como ventaja de este método cabe destacar que se puede sistematizar con un código de barras o procedimiento similar, pero tiene como desventaja que requiere hacer un seguimiento señal por señal y de todas las fechas de instalación (no de fabricación), sin embargo, no se evalúan las condiciones reales de visibilidad.

En este método es esencial poder contar con inventarios basados en herramientas GIS que permitan disponer de todos los datos de una red en una base de datos común. El sistema debe tener buenas referencias cartográficas para ver todos los elementos en planta y poderse consultar por ejemplo vía internet.

2.4. Reposición completa de un área.

En este sistema se considera la reposición de las señales basándose que en un momento determinado en un área concreta, y con independencia del estado de servicio que presten las señales individualmente, se sustituyen todas. Los intervalos de sustitución pueden establecerse en función del conocimiento de la vida útil estimada.

La ventaja de este sistema es que se está del lado de la seguridad, lo que supone que ninguna dejará de remplazarse y todas las sustituidas contarán con los mínimos de retroreflexión. El reemplazo es homogéneo. La desventaja es que se trata de una estrategia que puede despreciar elementos que presentan buen estado, por lo que se malgastan recursos.

2.5. Gestión mediante el uso de equipos de alto rendimiento.

Por último, está la auscultación de la señalización con equipos de alto rendimiento, ahora que se dispone de sistemas precisos como se describirá posteriormente. La auscultación con sistemas dinámicos respecto a los métodos anteriores ofrece las siguientes ventajas:

- 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).
- Se incrementa el 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.

Las ventajas expuestas anteriormente (no es necesario medir directamente, no se requieren elementos auxiliares y el poder aumentar la frecuencia de las inspecciones) 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.

En los últimos veinte años se ha trabajado mucho en desarrollar sistemas de alto rendimiento que permitan inspeccionar los pavimentos y los elementos de la carretera a la velocidad del tráfico. Actualmente los sistemas de toma de imagen, las nuevas técnicas de iluminación y en especial la capacidad de los equipos informáticos, han permitido desarrollar equipos y sistemas de análisis con prestaciones muy elevadas. En la auscultación de la señalización vertical el salto ha sido muy importante y ahora es posible evaluar la visibilidad nocturna de todos los elementos instalados en un mismo tramo de la vía a la velocidad del tráfico.

Actualmente los equipos dinámicos evalúan el estado de la visibilidad nocturna de la señalización permitiendo conocer, de acuerdo con la norma de carreteras del país correspondiente, el estado de las señales de tráfico en cuanto a su visibilidad nocturna (incluyendo pórticos y banderolas) y la correspondiente adecuación a la norma de aplicación o no.

Debemos distinguir claramente los sistemas que realizan un inventario de la señalización vertical, calculando y registrando la tipología, localización, distancia de visibilidad etc., medida normalmente en condiciones diurnas, de aquellos que nos permiten valorar el patrimonio de señales, carteles, pórticos y banderolas en cuanto a la visibilidad nocturna que presentan.

A continuación se detallan las características del equipo que se emplea ya de forma sistemática para la medida del estado de la señalización vertical a nivel de red.

3. DESCRIPCION DEL SISTEMA

Como se ha descrito en el apartado anterior, hasta el momento la inspección y medida de la retrorreflexión 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. Con el objeto de poder desarrollar un equipo capaz de medir a la velocidad de circulación, en estos años se han realizado nuevos ensayos, basados en la utilización de cámaras infrarrojas, adquisición de imágenes con iluminación modulada (flashes) y vehículos de inspección controlados por operadores, pero la medida de la luminancia no es adecuada y en general todos los sistemas experimentales requieren realizar medidas en condiciones diurnas y nocturnas para comparar y solamente evalúan subjetivamente la visibilidad de las señales sin poder llegar a compararse con las medidas registradas con los retroreflectómetros portátiles o de laboratorio

El equipo “VISUALISE” que se describe y presenta 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 la norma, permitiendo además una comparación con los parámetros medidos con equipos puntales en carretera o en el laboratorio.

El que el equipo permita realizar las medidas a las velocidades de circulación convencionales 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).
- Se incrementa el 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.

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.

El equipo de auscultación automática de señales y paneles de tráfico (“VISUALISE”), se basa en la medida de retrorreflexión y contraste de las señales y paneles utilizando iluminación activa infrarroja y cámaras de alta resolución. En consecuencia, la auscultación se realiza en condiciones nocturnas para garantizar que la principal fuente de luz, utilizada para la medida de la retrorreflexión, 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.

“VISUALISE” 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 metro cuadrado (cd/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 hardware y software, tal y como se aprecia en la Figura 2.

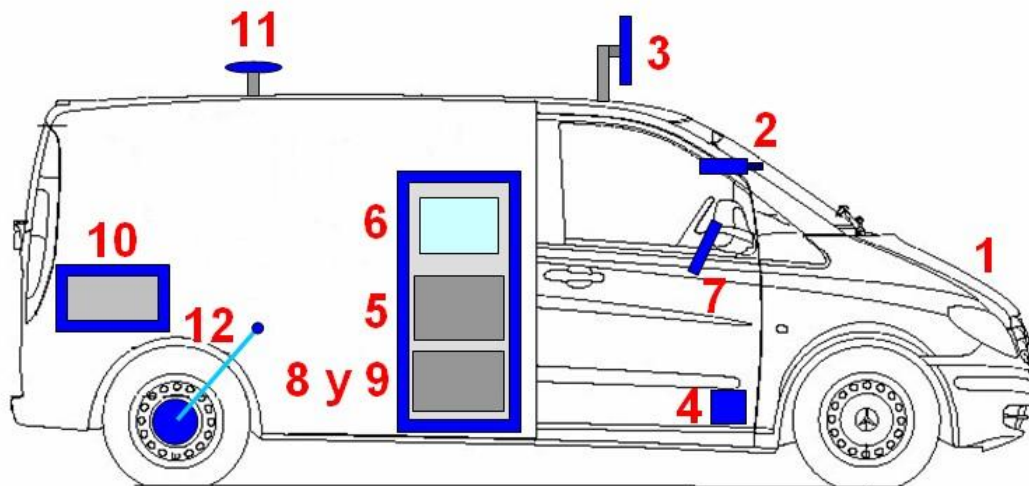


Figura 2. Componentes del equipo "VISUALISE".

1. Croquis del vehículo (portador) empleado.
2. Cámaras digitales de alta resolución y elevada sensibilidad luminosa, Sistema de iluminación infrarroja pulsada, sincronizado con la captación de imágenes.
3. Sistema de iluminación infrarroja pulsada (sincronizada con toma datos).
4. Sistema electrónico de sincronización
5. Procesador hardware para la toma de datos,
6. Monitor TFT para la visualización de los resultados de la adquisición
7. Teclado de incidencias
8. Rack, para el almacenamiento de secuencias de imágenes estereoscópicas.
9. Equipo de procesamiento de imágenes estereoscópicas, Generador diesel
10. GPS diferencial de 12 canales y frecuencia de 10 Hz, con precisión submétrica.
11. Sistema odométrico.
- 12., en tiempo real y decimétrica en post-proceso, para conocer la posición que el vehículo tiene en cada momento respecto a la señal auscultada; y,

4. PROCESO DE AUSCULTACIÓN

El proceso de auscultación consta de dos fases. La primera fase o proceso se denomina "Proceso en línea". El sistema de inspección registra y almacena las imágenes obtenidas en el proceso en línea y posteriormente en el "Proceso fuera de línea" se genera un informe que contiene los valores de retroreflexión y de contraste para cada una de las señales o pórticos analizados en el tramo de carretera.

4.1 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 (portador), 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 aquéllas 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".

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 incidencias. 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 software 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.

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 hardware 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.

Con el fin de: a) mantener el ángulo de entrada de la luz reflejada por las señales y paneles; b) no exceder los valores máximos utilizados para la calibración de los materiales estándar; c) y, para garantizar que las señales y paneles son iluminados correctamente por el iluminador infrarrojo, se deberá utilizar el carril derecho como carril de medida. 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”.

4.2. 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 incidencias (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:

1. Señal de "Stop".
2. Señal circular con fondo blanco.
3. Señal circular con fondo azul.
4. Señal triangular.
5. Señal cuadrada con fondo blanco.
6. Señal cuadrada con fondo azul.
7. Panel con fondo blanco. Y,
8. 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" 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 pódico, se convierten a curvas de retroreflexión 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 retroreflexión para dicho elemento.

Para llevar a cabo esta conversión (de luminancia a retroreflexión), se utilizan tres curvas, una para cada clase característica de material retroreflectante 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 parte, se obtienen en un proceso de calibración realizado fuera de línea, con anterioridad al inicio de la medida.

En la Figura 3 puede apreciarse el aspecto de las curvas de conversión obtenidas para los 3 niveles de material retroreflectante, 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.

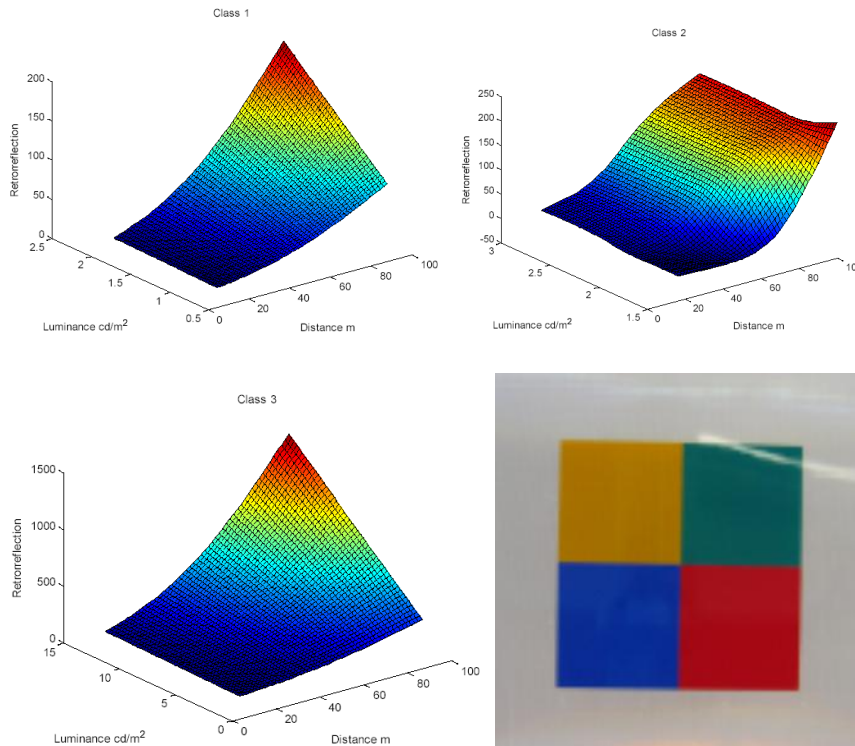


Figura 3 - Curvas de calibración obtenidas para los materiales nivel 1 (superior izquierda), 2 (superior derecha) y 3 (inferior izquierda); material patrón nivel 3 empleado (inferior derecha).

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 (portador) 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 en color azul, mientras que la curva de retrorreflexión real medida se muestra en verde.

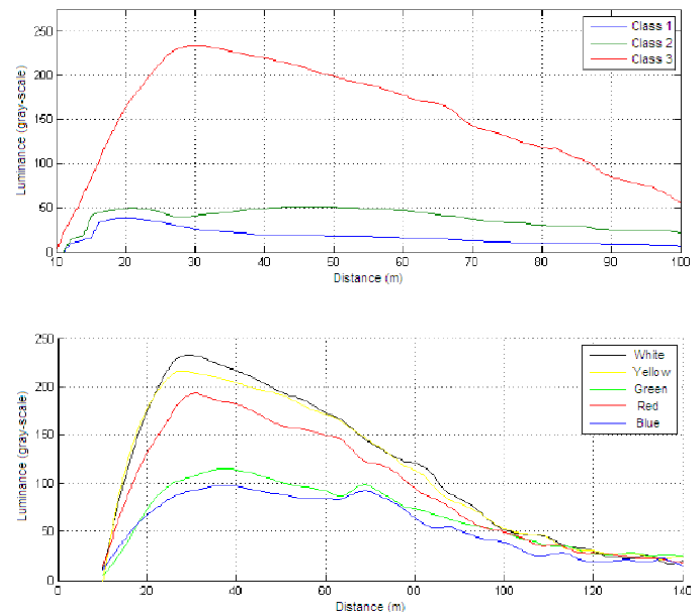


Figura 4 - Curvas de luminancia medidas para el color blanco de los tres materiales empleados en la calibración (gráfica superior); curvas de luminancia medidas para los diferentes colores presentes en el material nivel 3 (gráfica inferior).

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.

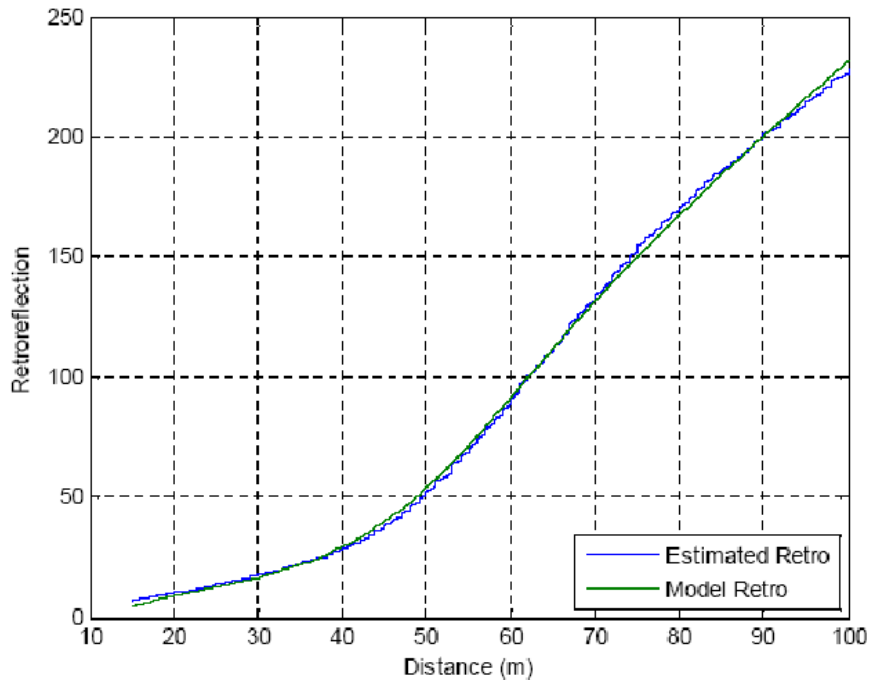


Figura 5 - Curva (teórica) de retroreflexión estimada para el nivel 2 (azul) utilizada como señal patrón en el proceso de calibración; curva de retroreflexión (real) obtenida con “VISUALISE” para dicha clase (verde).

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 retroreflexión, 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 retroreflexión.
- Retroreflexión 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 retroreflectante.
- 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 retroreflexión.

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

5. 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 procesado 1:1 (por cada hora de captación y grabación de imágenes, una hora de procesado).

Debido a la gran cantidad de información obtenida como resultado de la auscultación, el sistema “VISUALISE” dispone de una herramienta software 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 “visor” puede definirse de forma diferenciada para cada uno de los clientes finales (administración de carreteras correspondiente).

El software 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 6 se muestra el aspecto general del software para la visualización de los resultados.

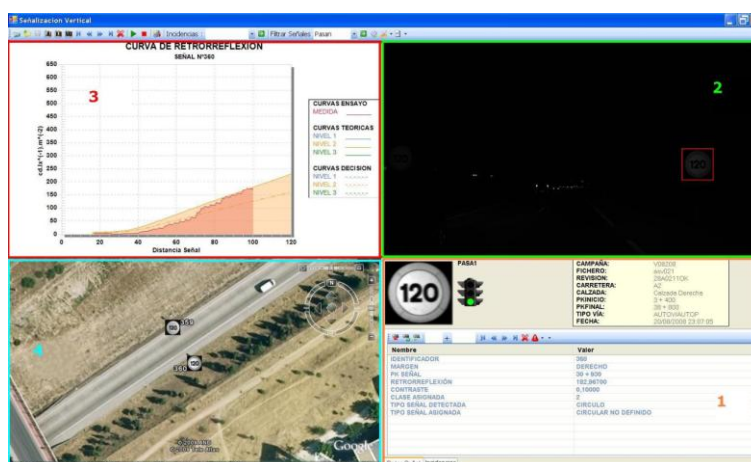


Figura 6 - Ejemplo de visor para la presentación de los resultados (señal de tráfico: panel informativo) [2] y [3].

En la pantalla del software (“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:

5.1.- Área de datos (Figura 7)

- 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 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.

Nombre	Valor
IDENTIFICADOR	360
MARGEN	DERECHO
PK SEÑAL	30 + 930
RETROREFLEXIÓN	182,96700
CONTRASTE	0,10000
CLASE ASIGNADA	2
TIPO SEÑAL DETECTADA	CIRCULO
TIPO SEÑAL ASIGNADA	CIRCULAR NO DEFINIDO

Figura 7 – Descripción de la señal en el área de datos.

5.2. Área de imagen panorámica (Figura 8)

- Imagen panorámica de la carretera con “enmarcado” de la señal objeto de auscultación.



Figura 8 - Detalle correspondiente al área de imagen panorámica del “visor”

5.3. Área de resultado de la auscultación (Figura 9)

- 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”).



Figura 9 - Detalle del área de presentación del resultado en el “visor”.

5.4. Área de posicionamiento (Figura 10)

- 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.



Figura 10 - Detalle del área de posicionamiento que se incluye en el “visor” de presentación de los resultados.

Por último, el software 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 retroreflexión. 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 11 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 aquellas incidencias que podrían alterar los resultados (carteles publicitarios, señalización de obra, etc.), el software desarrollado con “VISUALISE” permite realizar, de forma manual, un postprocesado de la información.

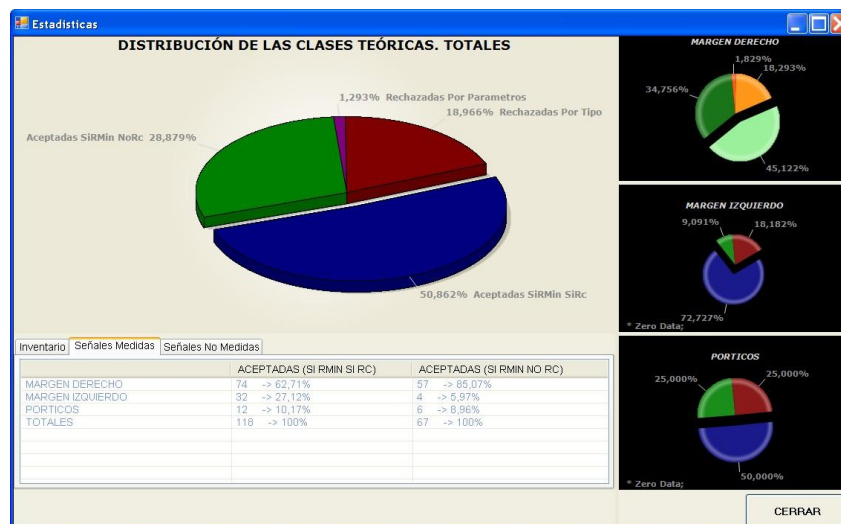


Figura 11 - . Informe de presentación de estadísticas del tramo auscultado generado directamente desde el “visor” de resultados

6. CONCLUSION

Los equipos de alto rendimiento suponen un salto cualitativo, y cuantitativo, en la evaluación del nivel de servicio de la señalización vertical de carreteras. En este sentido están llamados a servir de revulsivo para mejorar el nivel de servicio de las señales de tráfico.

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.

REFERENCES

1. FHWA – SA-03-027 – Maintaining Traffic Sign Retroreflectivity, Dec 2003, U.S. Department of Transportation
2. Elementos de señalización, balizamiento y defensa de las carreteras. Pliego de Prescripciones Técnicas Generales para Obras de Carreteras y Puentes (PG-3). Ministerio de Fomento (2.000).
3. UNE 135352. Señalización Vertical y Balizamiento. Control de calidad “in situ” de elementos en servicio. Características y métodos de ensayo. (2006)