

Nuevas tecnologías para mejorar la conservación de la visibilidad nocturna de la señalización horizontal y vertical

POR JOSÉ M. PARDILLO MAYORA
DR. INGENIERO DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS

Y PETER J. HATZI
HIGHWAY ENGINEER



Interior del vehículo retrorreflectómetro móvil para marcas viales. Estación de trabajo del operador.

La señalización, tanto horizontal como vertical, constituye un elemento básico para el funcionamiento del sistema viario. Permite transmitir al conductor información relativa a las normas de circulación y a las características de la vía, advertirle de los peligros potenciales y proporcionarle la orientación direccional necesaria para seguir su camino, con lo que favorece que la circulación se desarrolle de forma ordenada y segura.

Cualquier dispositivo destinado a la ordenación de la circulación debe cumplir cinco requisitos básicos para resultar eficaz (1):

- ser necesario;
- atraer la atención;
- transmitir un mensaje claro y sencillo;
- ser respetado por los usuarios;
- permitir un tiempo de respuesta adecuado.

Esto exige que, además de estar adecuadamente concebida y dispuesta, la señalización resulte

detectable y legible desde una distancia suficiente tanto de día como de noche. En la fabricación de las señales verticales y de las marcas viales se emplean materiales que tienen la propiedad de devolver en la dirección del vehículo un alto porcentaje de la luz que reciben de los faros del mismo. Esta propiedad, que se denomina retrorreflexión, hace que las señales resulten brillantes cuando son iluminadas, y se perciban con mayor facilidad. La retrorreflexión resulta fundamental para

La retrorreflexión de las marcas viales se consigue distribuyendo microesferas de vidrio en la superficie de la pintura, de la resina o del termoplástico que constituye la marca

la comodidad y seguridad de la circulación nocturna.

El mecanismo de la retrorreflexión

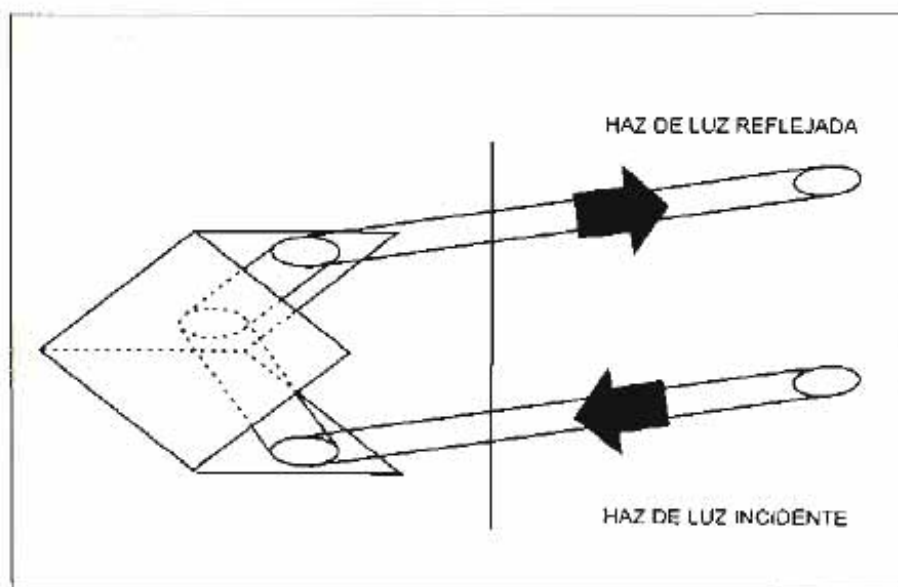
La retrorreflexión se produce gracias a la inclusión de microlentes, que pueden ser de dos tipos, en la cara visible de las señales (figura 1). Las lentes prismáticas causan una reflexión interna total del rayo incidente por reflexión sucesiva en dos planos del prisma, de forma que el rayo reflejado es paralelo al rayo de luz incidente. En el caso de las lentes esféricas, la retrorreflexión se debe a una combinación de refracción en la superficie de la esfera y de reflexión en una superficie reflectante situada en el punto focal.

La retrorreflexión de las marcas viales se consigue distribuyendo microesferas de vidrio en la superficie de la pintura, de la resina o del termoplástico que constituye la marca.

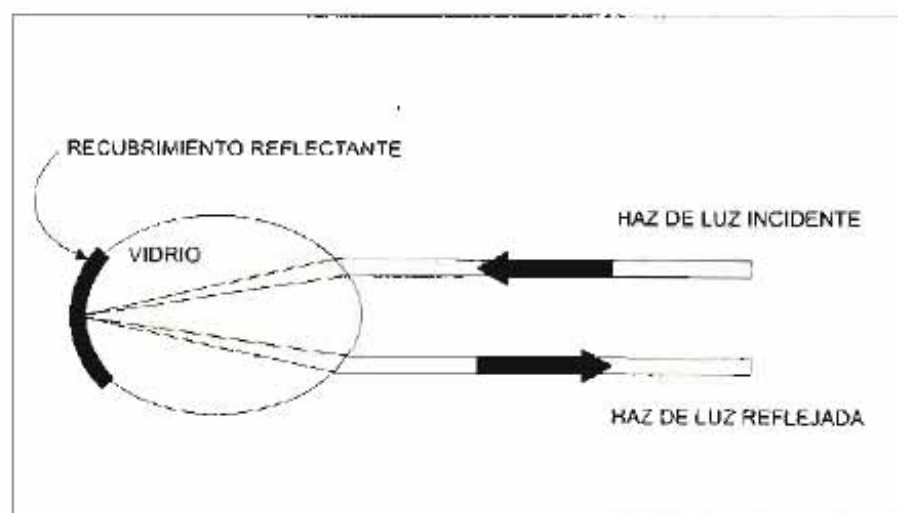
En la fabricación de los materiales retrorreflectantes para señales verticales se utilizan los dos tipos de lentes, dando lugar a distintas calidades o grados de los elementos retrorreflectantes (figura 2). La clasificación ASTM incluye las siguientes categorías de materiales retrorreflectantes (2) para señales de circulación:

Tipo I: material reflectante de intensidad media constituido por lentes embebidas ("engineering grade").

Tipo II: material retrorreflectante de intensidad media-alta



LENTES PRISMÁTICAS



LENTES ESFÉRICAS

Figura 1. Mecanismos de retrorreflexión en dos tipos de lentes.

constituido por lentes embebidas ("super engineering grade").

Tipo III: material retrorreflectante de alta intensidad constituido por lentes encapsuladas ("high intensity").

Tipo IV: material retrorreflectante de alta intensidad constituido por micropismas no metalizados.

Tipo VII: material retrorreflectante de muy alta intensidad constituido por micropismas ("diamond grade").

Medida de la retrorreflexión

La principal propiedad que diferencia los distintos tipos de ma-

teriales retrorreflectantes es el coeficiente de retrorreflexión (R_s), que puede definirse como la cantidad de luz por unidad de superficie, o luminancia, que devuelve el material retrorreflectante por unidad de iluminancia de la fuente luminosa. Las unidades en que se expresa R_s son candelas por lux por metro cuadrado ($cd/lx/m^2$).

En el caso de las marcas viales, el parámetro que mide el nivel de retrorreflexión es el coeficiente de luminancia retrorreflejada (R_r), que se define como la relación entre la luminancia reflejada en la dirección de observación y la iluminancia proyectada en el plano normal a la luz incidente. Las unidades son las mismas que en el caso anterior.

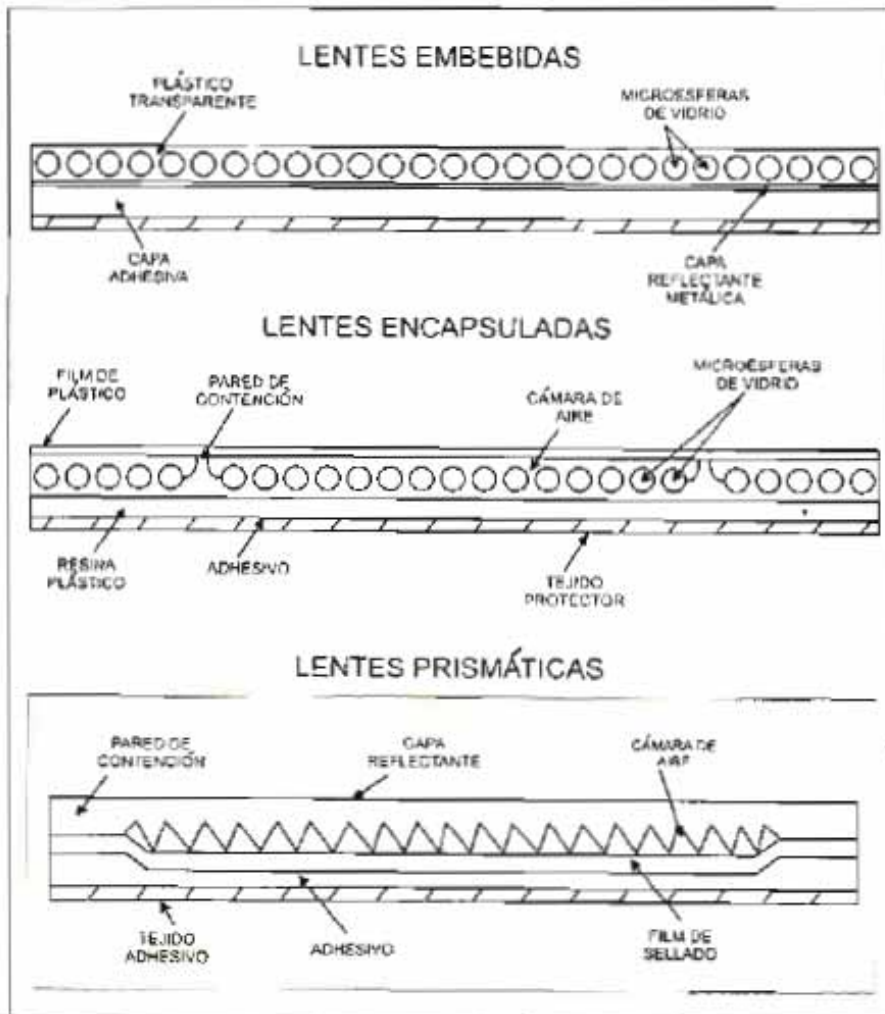


Figura 2. Composición de distintos tipos de materiales retrorreflexivos.

El valor de los coeficientes que miden la retrorreflexión de las señales verticales y marcas viales varía en función del ángulo de incidencia o de entrada, formado por la dirección del haz de luz incidente y el eje del retrorreflector, y del ángulo de observación, comprendido entre el haz incidente y la dirección de observación del conductor. Estos ángulos cambian al variar la distancia entre el vehículo y la señal, y dependen también de la posición de la marca o señal respecto de la calzada, en el caso del ángulo de entrada, y de la altura de los ojos del conductor respecto de los faros del vehículo, en el caso del ángulo de observación. Esta altura varía entre 0,5 m, para coches pequeños, y 1,6 m, en el caso de grandes camiones.

El ángulo de observación de las señales verticales (figura 3) suele estar comprendido entre

0,2 y 0,5 grados, que corresponden a unas distancias de observación de 152 m y 61 m, respectivamente, con una altura de los ojos del conductor respecto de los faros de 0,65 m. El valor del ángulo de entrada suele encontrarse entre -4 y 30 grados, en función de la posición de la señal respecto del borde de la calzada y del trazado de la carretera. En el caso de las marcas viales (figura 4 de la página siguiente), el ángulo de observación varía entre 0,2 y 1,33 grados y el de entrada entre 75 y 88 grados.

Dado que los valores del coeficiente de retrorreflexión varían en función de la geometría de medida adoptada, se han establecido una serie de valores normalizados que permiten obtener valores comparables en las mediciones. En el caso de las señales verticales las medidas se refieren, en general, a dos geometrías:

- ASTM-E-810: ángulo de entrada de $0,2^\circ$ y ángulo de observación de -4° .
- DIN 65720: ángulo de entrada de 33° y ángulo de observación de 5° .

Para las marcas viales, el Comité Europeo de Normalización ha establecido en el borrador de norma prEN 1436 (3) co-

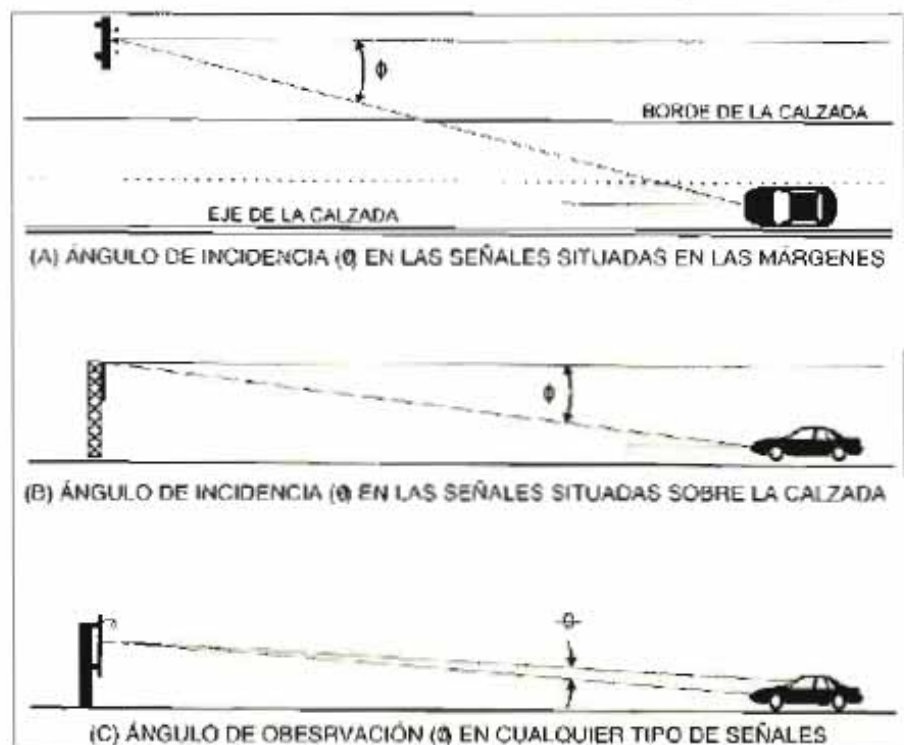


Figura 3. Ángulo de incidencia y de observación en señales verticales.

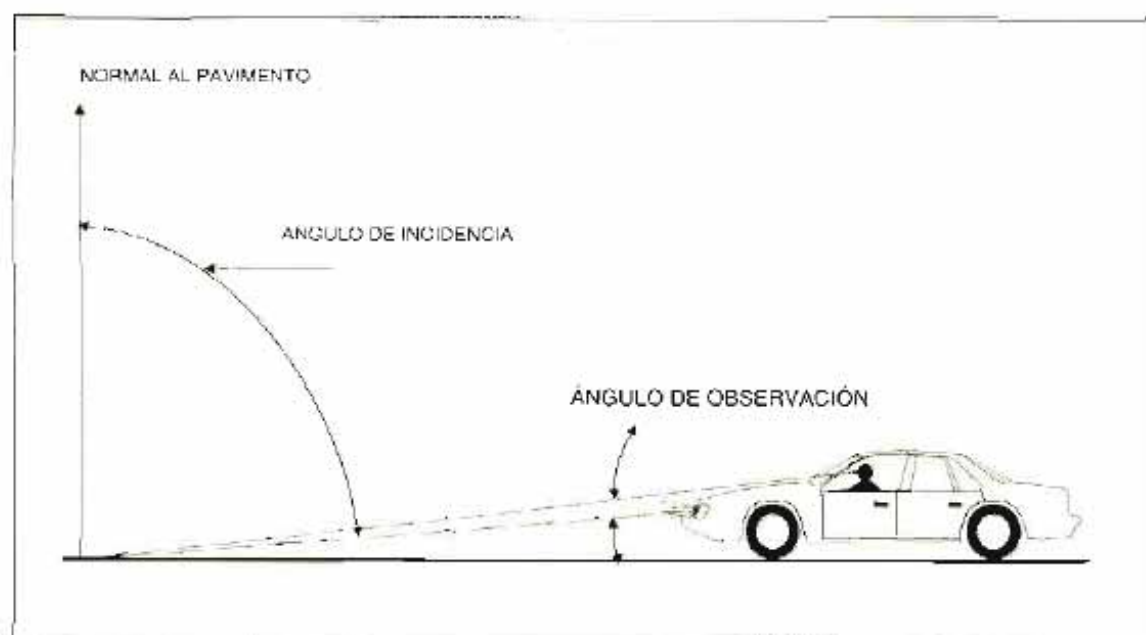


Figura 4. Ángulos de incidencia y de observación en marcas viales.

mo condiciones estándar de medida, un ángulo de entrada de 88.76° y un ángulo de observación de 1.05° , que se derivan de considerar una distancia de observación de 30 m, una altura del faro del vehículo de 0,65 m y una altura del ojo del conductor de 1.2 m. Estos valores se han fijado teniendo en cuenta las condiciones medias de los vehículos ligeros y la distancia a la que un conductor debería poder ver por la noche en condiciones meteorológicas adversas, y podrían ser adoptados internacionalmente.

Valores mínimos de la retrorreflexión en señales de circulación

La FHWA realizó entre 1986 y 1992 una serie de estudios muy completos para determinar los valores mínimos del coeficiente de retrorreflexión que resultan precisos para proporcionar a los usuarios suficiente distancia de visibilidad de la señalización vertical durante la noche (4).

Como resultado del estudio se desarrolló un programa de ordenador denominado CARTS que permite calcular el tiempo o la distancia necesarios para identificar y responder a una señal, la luminancia que debe presentar la señal para ser detectada y recono-

cida a la distancia requerida, y el nivel de retrorreflexión necesario para conseguir la luminancia requerida.

El programa CARTS está basado en tres módulos que realizan secuencialmente las siguientes funciones:

1. El submodelo de cálculo de la distancia de visibilidad mínima (*minimum required visibility distance, MRVD*) permite determinar la distancia mínima a la que debe ser visible una señal para permitir a conductores de diferentes capacidades visuales, cognitivas y psicomotoras responder adecuadamente y con seguridad a su mensaje. Para ello se considera el concepto de distancia de visibilidad de decisión definido por Alexander y Lunefeld (5) como "la distancia a la cual un conductor puede detectar una señal en un entorno visual, reconocerla, seleccionar una velocidad y trayectoria adecuadas, y realizar las acciones necesarias con seguridad y eficacia".

El modelo establece la secuencia de sucesos de que consta el proceso de conducción:

1. Detección de la señal.
2. Reconocimiento de la señal y de la situación a la que se refiere.
3. Toma de decisión sobre las alternativas posibles.
4. Inicio de la respuesta.

5. Finalización de la maniobra de respuesta.

El programa estima los tiempos necesarios para cada una de las fases del proceso. Para ello, se utiliza la información obtenida en investigaciones anteriores (6), complementada con los datos obtenidos en un experimento controlado que se realizó específicamente para el desarrollo del modelo. Las variables que se introducen en el modelo son

la edad del conductor, la complejidad visual del entorno de la carretera, la anchura del carril, la velocidad e intensidad del tráfico, y el tipo de señal. Con éstos, el programa calcula la distancia de visibilidad mínima que se precisa.

2. El submodelo de inversión de la distancia de detección (*inverse-programmed detect, IPDET*) permite calcular la luminancia que debe proporcionar la señal para resultar visible a la distancia determinada en el primer paso. Ésta depende de diversos factores, entre los que se incluyen las características visuales del conductor, las características del vehículo, la geometría de la carretera, el entorno de la misma, y el tamaño y la posición de la señal.

El IPDET está basado en el programa PCDETECT, desarrollado por Bhise *et al* (7), que se basa en el modelo de la capacidad visual humana publicado por la Comisión Internacional de Iluminación (CIE) (8). Este modelo permite determinar el umbral de detección a partir del contraste de luminancia, teniendo en cuenta los efectos de los reflejos y del nivel de adaptación. El programa PCDETECT establece la distancia a la que las señales son detectables en diferentes condiciones de iluminación y de reflejo.

El problema planteado en el submodelo IPDET es el inverso:

determinar la luminancia que hace que la señal se detecte a la distancia requerida. Para ello se consideran el tipo y la posición de la señal, las características del conductor —edad, agudeza visual, altura de los ojos—, las características del vehículo —tipo de faros, altura y distancia entre ellos—, las características de la carretera —número y anchura de los carriles, pendiente y radio de curvatura, complejidad visual del entorno— y las del tráfico —velocidad, intensidad, posibilidad de deslumbramiento por los vehículos circulando en sentido contrario— para determinar la luminancia requerida. Con este valor, el modelo calcula el valor del coeficiente de retrorreflexión necesario en función de la potencia de los faros del vehículo considerado.

3. El submodelo de estandarización del valor del coeficiente de retrorreflexión (*standardized retroreflectivity measurement, SRM*) convierte el valor del coeficiente determinado en el paso anterior a un valor estandarizado correspondiente a un ángulo de observación y de incidencia fijos ($0,2^\circ$ y -4° , respectivamente). Dado que los valores de R_A dependen de la geometría de medida, los valores obtenidos en la fase anterior no serían comparables entre sí, ya que en cada caso estarán referidos a los ángulos de observación y de incidencia que determinan la posición de la señal y la distancia de observación necesarias en ese caso en particular. Para llevar a cabo la traducción de los valores de R_A referidos a distintas geometrías de medida, se realizó una campaña exhaustiva de ensayos en el laboratorio de fotogrametría de la FHWA, en el curso de la cual se determinaron los valores correspondientes a los distintos tipos de materiales retrorreflectantes admitidos para ángulos de observación comprendidos entre $0,2^\circ$ y $2,0^\circ$ y ángulos de incidencia comprendidos entre -4° y 50° . La relación entre los distintos valores de R_A varía en función del tipo de material, por lo que se establecieron unas curvas de transformación



La visibilidad de la señalización horizontal y vertical durante la noche ha sido objeto de diversos estudios y programas, como el denominado CARTS.

distintas para cada una de las categorías de materiales retrorreflectantes, como refleja la figura 5.

La aplicación del programa CARTS permitió establecer los valores mínimos de la retrorreflexión precisos para proporcionar

a los usuarios una distancia de visibilidad nocturna adecuada. Para ello, se consideraron una serie de condiciones de referencia en relación con los distintos factores que intervienen en el problema. Las condiciones fijadas son las siguientes:

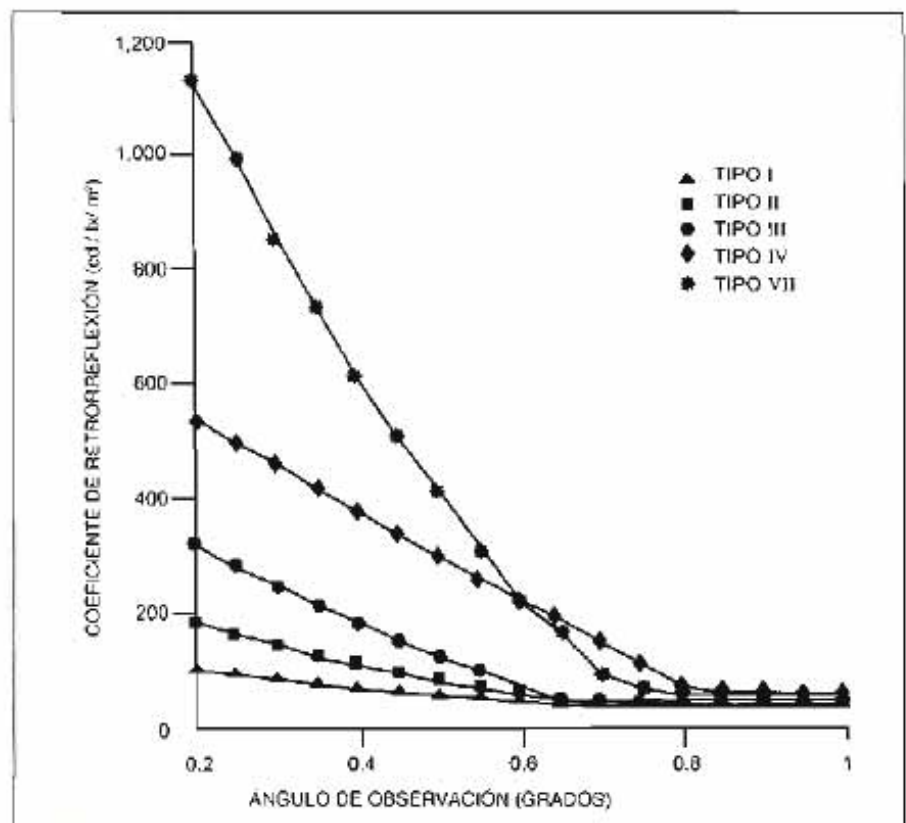


Figura 5. Variación de R_A con el ángulo de observación en función de la clase de material retrorreflexivo.

Para el desarrollo del estudio se definió un conductor tipo, de 47 años de edad, una agudeza visual de 20/20 y una sensibilidad al contraste de 0,257

a) Posición de las señales.

La tabla 3 refleja los valores de los distintos parámetros que determinan la posición de la señal en las condiciones más habituales, de acuerdo con lo establecido en la norma de señalización americana (1).

b) Características del conductor.

La relación entre la edad y la capacidad visual de los conductores se puede establecer a partir de las tablas estadísticas que reflejan la distribución de tres características de los conductores: edad, agudeza



También en España se está evolucionando mucho en este campo.

c) Características del vehículo.

Se consideraron unas características tipo de un vehículo ligero representativo del parque norteamericano. Los parámetros adoptados fueron:

- Altura de los faros: 0,61 m.
- Distancia entre los faros: 1,22 m.

0,01 cd/m², con una complejidad visual media, y sin fuentes de deslumbramiento en el sentido de circulación opuesto. Las características de la vía consideradas fueron:

- Número de carriles: 2.
- Anchura de carril: 3,7 m.

El observador se consideró situado en el carril derecho para las señales situadas en la margen derecha o en pódicos sobre la calzada; y en el carril izquierdo para las señales situadas en la margen izquierda o en la mediana.

e) Características de la circulación.

Se consideró una intensidad media de tráfico, con velocidades de circulación comprendidas entre 48 km/h y 104 km/h.

Los valores mínimos de visibilidad requeridos se establecieron en función de las condiciones de referencia anteriores y de los valores de una serie de variables significativas para el problema estudiado. Estas variables son:

- Velocidad de circulación: la distancia de visibilidad requerida es directamente proporcional a la velocidad de circulación. El tiempo necesario para cada uno de los pasos en el proceso de detección y de reconocimiento se traduce a distancia en función de la velocidad del vehículo.
- Tamaño de la señal: la capacidad de los conductores de detectar y reconocer una señal depende de su tamaño.

Tabla 3. Condiciones de referencia para la posición de las señales

Entorno	Margen	Distancia lateral	Altura
Interurbano	Derecha	3,7 m	1,5 m
Urbano	Derecha	0,6 m	2,1 m
Interurbano	Izquierda	3,7 m	1,5 m
Todos	Mediana	0,6 m	1,5 m
Todos	Pódicos	0 m	6,1 m

visual y umbral de sensibilidad al contraste. Las tablas proporcionan el valor de cada parámetro para distintas proporciones de la población. Para cada valor de la edad del conductor se puede determinar el porcentaje de conductores por debajo de esa edad, y determinar la agudeza visual y el umbral de contraste que corresponden a ese porcentaje de la población.

Para el desarrollo del estudio se definió un conductor tipo, que corresponde al percentil 66. Sus características son 47 años de edad, una agudeza visual de 20/20 y una sensibilidad al contraste de 0,257.

- Altura de los ojos del conductor: 1,06 m.
- Distancia en planta del conductor respecto del eje del vehículo: 0,45 m.
- Transmisibilidad luminosa del parabrisas: 70%.

Se adoptó también un modelo de faros estándar con unas características de intensidad que corresponden al percentil 50 de las lámparas más habituales en los vehículos norteamericanos.

d) Características de la carretera.

Se consideró como tramo de referencia uno recto y horizontal con una luminancia ambiental de

Las necesidades de retroreflexión disminuyen al aumentar el tamaño de las señales.

- **Leyenda:** su diseño afecta a los requerimientos de retroreflexión. Las señales con símbolos más sencillos se identifican con mayor facilidad que las que incluyen detalles más complejos.
- **Tipo de material:** al expresarse los requerimientos de retroreflexión referidos a la geometría estándar, es necesario efectuar la transformación a las condiciones particulares de cada señal. Dado que las curvas que relacionan los valores de retroreflexión correspondientes a distintos ángulos de incidencia y de observación son distintas para cada categoría de material retroreflectante, es necesario tener en cuenta la clase de material de la señal que se considere.
- **Localización de la señal:** determina la cantidad de luz que recibe de los faros del vehículo. Debido a su configuración, las señales situadas en la margen izquierda de la calzada y las que están instaladas sobre la calzada reciben una iluminación sensiblemente menor que las montadas en la margen derecha. En principio, esto supone que la necesidad de retroreflexión es mayor en los dos primeros casos. Sin embargo, en las señales del estudio, este efecto sólo se tuvo en cuenta para las señales montadas sobre la calzada, ya que se consideró que las señales situadas en la margen izquierda corresponden en su mayoría a carreteras de doble calzada, y se asumió que los conductores que precisen leerlas son los que circulan por el carril izquierdo: por lo que su posición es más cercana a la señal que cuando se trata de señales situadas en el margen derecho, lo que compensa el efecto de la menor iluminación.

El grado de influencia de es-

Tabla 4. Valores mínimos del coeficiente de retroreflexión para señales de advertencia de color negro sobre fondo amarillo o naranja (cd/lx/m^2)
(Fuente: FHWA-RD-93-152) (4)

Tamaño de la señal		$\geq 122 \text{ cm}$	91 cm	$\leq 76 \text{ cm}$
Leyenda	Tipo de material			
Símbolos gruesos	Todos	15	20	25
Símbolos finos y/o letras	I	20	30	45
	II	25	40	60
	III	30	50	80
	IV	40	70	120

Tabla 5. Valores mínimos del coeficiente de retroreflexión para señales de reglamentación de color rojo sobre fondo blanco (cd/lx/m^2)
(Fuente: FHWA-RD-93-152) (4)

Límite de velocidad	$\geq 70 \text{ km/h}$						$\leq 65 \text{ km/h}$					
	$\geq 122 \text{ cm}$		91 cm		$\leq 76 \text{ cm}$		$\geq 122 \text{ cm}$		91 cm		$\leq 76 \text{ cm}$	
Tamaño de la señal	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
B: Blanco	50	10	60	12	70	14	30	6	35	7	40	8
R: Rojo												

Tabla 6. Valores mínimos del coeficiente de retroreflexión para señales de reglamentación o de orientación de color negro sobre fondo blanco (cd/lx/m^2)
(Fuente: FHWA-RD-93-152) (4)

Límite de velocidad	$\geq 70 \text{ km/h}$						$\leq 65 \text{ km/h}$					
	$\geq 122 \text{ cm}$		91 cm		$\leq 76 \text{ cm}$		$\geq 122 \text{ cm}$		91 cm		$\leq 76 \text{ cm}$	
Tamaño de la señal	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
Posición	Material											
Lateral sobre poste	I	20	35	50	15	20	35					
	II	25	45	70	20	30	55					
	III	30	60	90	25	45	75					
	IV y VII	40	80	120	35	60	100					
Sobre la calzada	I				40	50	100					
	II				50	75	135					
	III				65	115	185					
	IV y VII				90	150	250					

tas variables es distinto para los distintos tipos de señales. Los requerimientos se establecieron considerando las variables más significativas en cada caso para los siguientes grupos de señales:

1. Señales de advertencia de color negro sobre fondo amarillo o naranja.
2. Señales de reglamentación de color rojo sobre fondo blanco.
3. Señales de reglamentación o de orientación de color negro sobre fondo blanco.

4. Señales direccionales de color blanco sobre fondo verde.

Las tablas 4, 5, 6 y 7 reflejan los valores del coeficiente de luminancia retroreflejada que se determinaron como límites mínimos necesarios para proporcionar la visibilidad necesaria a los conductores.

Los valores contenidos en las tablas anteriores suponen una orientación sobre los límites de las propiedades de retroreflexión que se deberían de mantener en

Tabla 7. Valores mínimos del coeficiente de retrorreflexión para señales direccionales de color blanco sobre fondo verde (cd/lx/m^2)

(Fuente: FHWA-RD-93-152) (4)

Limite de velocidad	$\geq 70 \text{ km/h}$		$\leq 65 \text{ km/h}$	
Posición	Blanco	Verde	Blanco	Verde
Lateral	35	7	25	5
Superior	110	22	80	16

la señalización vertical en servicio. Suponen, por tanto, la base de partida para establecer una planificación de la conservación destinada a mantener los niveles de visibilidad nocturna de las señales dentro de los límites requeridos por los usuarios.

Valores mínimos de retrorreflexión en marcas viales

En un estudio dirigido por Freedman (9) se combinaron datos de campo, experimentos de laboratorio y un proceso de simulación por ordenador para determinar los requisitos de una delineación eficaz de las carreteras, y se llegó a las siguientes conclusiones:

1. El conductor debe disponer como mínimo de dos segundos de tiempo de previsualización de la delineación de la vía en situaciones extremas, como lluvia intensa, niebla o deslumbramiento por los faros de los vehículos que circulan en sentido contrario, para proporcionar una guía eficaz a los conductores. Esto supone que cuando la velocidad de circulación es de 40 km/h, las marcas viales deben resultar visibles al menos desde 25 m, y, cuando la velocidad es de 90 km/h, la distancia mínima de visibilidad debe ser 48 m.

2. El tiempo de previsualización de la delineación debe ser al menos de tres segundos en condiciones normales para facilitar la tarea de la conducción. La información que recibe el conductor en estas condiciones le permite anticiparse a los cambios del trazado de la carretera, y no tener

que realizar maniobras continuas para ajustar su dirección: con lo que mejora el control del vehículo y la suavidad de la conducción. Para conseguir esto, la delineación debe ser visible desde 34 m cuando la velocidad de circulación es de 40 km/h, y desde 76 m cuando es de 90 km/h.

Para determinar qué niveles de retrorreflexión de las marcas viales son necesarios para conseguir los tiempos de previsualización requeridos, es necesario tener en cuenta que hay una serie de parámetros que influyen en la visibilidad de las marcas viales. En primer lugar, como en el caso de las señales, la visibilidad depende de las condiciones sensoriales de los conductores.

La capacidad de percibir una marca vial depende del contraste entre la calzada y la marca. La necesidad de contraste disminuye con la luminancia ambiental, de forma que de día se precisa un menor contraste que de noche. Por otra parte, en la conducción diurna la necesidad de guía es menor, al ser visible la vía y su entorno. El estudio de Freedman concluyó que resulta necesario un contraste de luminancias de 1,0 para que los conductores tengan una referencia adecuada cuando se producen reflejos en calzadas secas, aunque, en condiciones ideales, un contraste de 0,5 resulta suficiente. Sin embargo, para tener en cuenta las necesidades de los conductores de mayor edad o con alguna limitación de la capacidad visual, se requiere un contraste de luminancia de 2,0 a 3,0, con el que se obtiene un tiempo de previsualización de 3 segundos, incluso en conductores mayores. El estudio de Freedman determinó que en calzadas secas esto se consigue si las marcas viales presentan un coeficiente de luminancia retrorreflejada mínimo que varía entre 64 y 127 mcd/lx/m^2 en función de la velocidad de circulación. Otros estudios de Henry et

Tabla 8. Clases de marcas viales en función del valor mínimo del coeficiente de luminancia retrorreflejada con pavimento seco establecidas por el CEN

(Fuente: borrador prEN 1436) (3)

Tipo y color de la marca vial		Clase	R _t mínimo (mcd/lx/m^2)
PERMANENTE	BLANCO	R0 *1 R2 R4 R5	- 100 200 300
	AMARILLO	R0 *1 R1 R3 R4	- 80 150 200
TEMPORAL		R0 *1 R3 R5	- 150 300

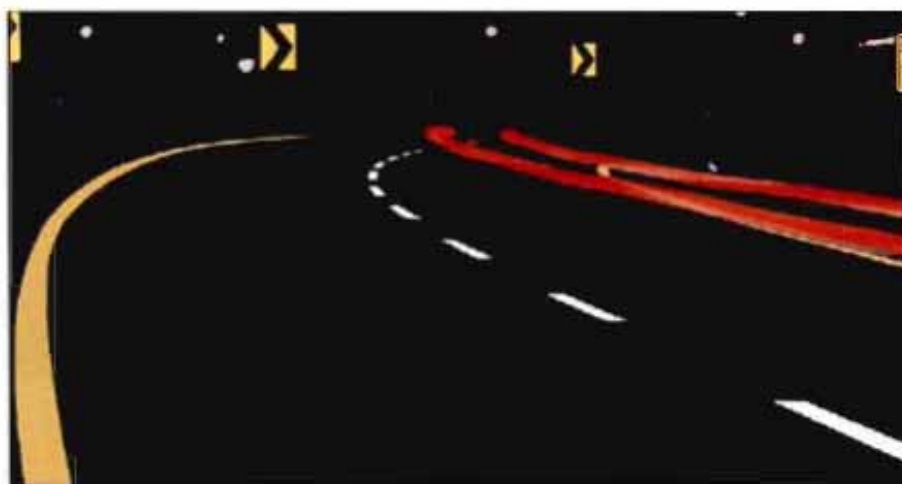
*1 La clase R0 corresponde a situaciones en las que la visibilidad de la marca vial no se consigue mediante la retrorreflexión de la luz emitida por los faros de los vehículos.

al (10) y de Attaway (11) obtuvieron resultados similares.

El problema resulta considerablemente más complicado cuando llueve. En estas condiciones diversos estudios han llegado a la conclusión de que los materiales empleados normalmente en las marcas viales no proporcionan las distancias de visibilidad adecuadas (referencias), y es necesario recurrir a elementos adicionales de balizamiento, como los hitos de arista y los ojos de gato. La FHWA está desarrollando un proyecto de investigación en este campo (*All Weather Pavement Markings*), en el curso del cual se están ensayando diversas técnicas para mejorar la visibilidad de las marcas viales en circunstancias meteorológicas adversas. Una de las que resulta eficaz consiste en el empleo de microesferas de mayor tamaño que el normal para conseguir la retroreflexión de las marcas. Este tipo de material ha sido analizado en un estudio de la Universidad de Carolina de Norte (12), determinándose que aumentan la distancia de visibilidad al doble, bajo la lluvia.

El Comité Europeo de Normalización (CEN) tiene muy avanzada la preparación de una norma de señalización horizontal (3), que establecerá los límites mínimos del coeficiente de luminancia retroreflejada para clasificar las marcas viales en distintas clases según su capacidad de retroreflexión. Los criterios de clasificación se diferencian en función del estado del pavimento (seco, húmedo o con lluvia). Las tablas 8 y 9 reflejan los valores que se están considerando para estos límites, y que están referidos a la geometría de medida descrita anteriormente.

El proyecto de norma CEN establece también distintas categorías de marcas viales en función de otras dos propiedades funcionales que miden distintos aspectos de la visibilidad: el coeficiente de luminancia con iluminación difusa, que mide la visibilidad de la marca, en condiciones de iluminación diurna o artificial medias, y el factor de luminancia.



Aunque en este momento esté en perfectas condiciones, la retroreflexión de las marcas y señales empeora con el tiempo por efecto de la intemperie.

Equipos de medida

La medida de la retroreflexión es una operación complicada que hasta hace pocos años se realizaba exclusivamente en laboratorio². Esto suponía que el control de los niveles de retroreflexión de la señalización sólo pudiese ser realizado sobre muestras de los materiales de fabricación de las marcas o señales, pero no sobre las ya colocadas en la vía.

Sin embargo, la retroreflexión de las marcas y señales empeora con el tiempo por efecto de la intemperie, y, en el caso de las marcas viales, del tráfico y de las operaciones de conservación de la

vía, especialmente de las máquinas quitanieves, que resultan muy agresivas para las microesferas que producen la retroreflexión.

En los últimos años se han desarrollado una serie de equipos manuales, tanto para señales como para marcas viales, que permiten medir "in situ" la retroreflexión de la señalización instalada. Esto permite, en principio, controlar los niveles de retroreflexión existentes en cada momento. Sin embargo, los rendimientos que se obtienen al tomar medidas con estos equipos manuales son bajos y además requieren que se desvíe el tráfico, por lo que su utilización se limita a un muestreo de los valores disponibles en un

Tabla 9. Clases de marcas viales en función del valor mínimo del coeficiente de luminancia retroreflejada con pavimento mojado o bajo lluvia establecidos por el CEN
(Fuente: borrador prEN 1436)³

Condición del pavimento	Clase	R _r mínimo (mcd/lx/m ²)
Mojado	RW0 ^{*2}	-
	RW1	25
	RW2	35
	RW3	50
Lloviendo	RR0 ^{*2}	-
	RR1	25
	RR2	35
	RR3	50

^{*2} Las clases RW0 y RR0 corresponden a situaciones en las que este tipo de retroreflexión no se considera por motivos económicos o tecnológicos.

^{*3} Las normas ASTM E 810-94 y D 4061-94 establecen la metodología de ensayo.

El retrorreflectómetro móvil para marcas viales ha sido sometido recientemente a una serie de pruebas para contrastar su precisión, obteniéndose unos resultados satisfactorios

número limitado de puntos.

Para adoptar las decisiones adecuadas en cuanto a la conservación de las señales y marcas viales y asegurar que se mantiene un nivel suficiente de visibilidad nocturna, resulta conveniente contar con un sistema de medida que permita obtener un registro completo de los valores del coeficiente de retrorreflexión. Por ello, la Administración Federal de Carreteras de los Estados Unidos (FHWA) ha patrocinado el desarrollo de unos modelos de retrorreflectómetros móviles, para señales verticales y marcas viales respectivamente, que permiten realizar medidas continuas de la retrorreflexión a plena luz del día desde un vehículo, mientras se circula a la velocidad normal del tráfico, sin interferir por tanto con éste.

El retrorreflectómetro móvil para señales verticales SMART (figura 6) graba la señal medida mediante una cámara de vídeo dotada de un flas electrónico que emite un haz de luz, suficientemente brillante como para superar la iluminación ambiente, cuando la señal se encuentra a la distancia de observación fijada. La imagen grabada se transforma en una representación digitalizada de la señal, a partir de la cual se calculan los valores medios de retrorreflexión de la leyenda y el fondo mediante un programa de proceso de imágenes. Para medir la distancia de la señal respecto del vehículo en movimiento en el que está montado el equipo de medida, se emplea un sistema lá-



Figura 6. Retrorreflectómetro móvil para señales verticales.

ser que está conectado a un sistema de seguimiento automático. Cuando el operador del equipo enfoca una señal que debe ser medida, el sistema mantiene automáticamente el enfoque hasta que se produce la emisión del haz de luz del flas y el registro en el vídeo.

La FHWA ha patrocinado también el desarrollo de un retrorreflectómetro móvil para marcas viales (figuras 7 y 8). La fuente de luz en este caso es un láser de helio-neón que se refleja por un espejo fijo hacia otro giratorio de doble cara, dispuesto de forma que el láser, tras reflejarse, barre el pavimento situado frente al vehículo a una distancia predeterminada. La distancia y el ángulo de incidencia del láser están fijadas de forma que reproducen la geometría de medida establecida, con una distancia de observación de 30 m. Un sensor óptico perpendicular a la dirección de observación fijada permite medir la intensidad retrorreflejada. El sistema realiza la medida de hasta 220 puntos ca-

da vez que el láser realiza un barrido de la marca vial. A 88 km/h el sistema realiza un barrido cada 2,3 metros, con lo que se obtiene un muestreo muy amplio de los valores de la retrorreflexión a lo largo de la carretera. Un ordenador a bordo del vehículo registra y procesa los datos, y proporciona los valores de la retrorreflexión media a intervalos constantes, así como toda la información asociada a los mismos.

El retrorreflectómetro móvil para marcas viales ha sido sometido recientemente a una serie de pruebas para contrastar su precisión y funcionamiento, obteniéndose unos resultados satisfactorios (13). Se ha determinado que la dispersión de las medidas efectuadas es inferior al 10% cuando se opera con longitudes base, para la determinación del coeficiente de luminancia retrorreflejada de, al menos, 800 m. Los nuevos equipos posibilitan un seguimiento efectivo de los niveles de visibilidad nocturna de la señalización y constituyen, por



que permitirán registrar las coordenadas de cada señal o marca automáticamente.

Sistemas de gestión de la señalización

Un sistema de gestión de la señalización de una red viaria consta de un conjunto coordinado de procedimientos, métodos y herramientas que permiten mantener la señalización en condiciones de servicio adecuadas y optimizar los costes de las operaciones de conservación necesarias para ello. Los elementos de que consta son los siguientes:

- Especificación y control de los materiales de fabricación de las señales y marcas viales.
- Inventario informatizado de la señalización horizontal y vertical instalada en la red, dotado de un sistema de actualización automática ligado al desarrollo de las operaciones de conservación y de instalación de nuevas señales.
- Programación de la sustitución de señales y del repintado de marcas viales.
- Programación sistemática de inspecciones del estado de la señalización.
- Corrección de la programación de las operaciones de

tanto, una herramienta muy valiosa para realizar su conservación eficazmente.

Para facilitar la incorporación automática de los datos registrados al sistema de gestión de la señalización, está previsto incorporar a los retrorreflectómetros móviles unos receptores de GPS



Figura 7. Retrorreflectómetro móvil para marcas viales.

conservación en función del resultado de las inspecciones.

El elemento básico del sistema es el inventario de la señalización. Los datos que incluye un inventario de señalización pueden clasificarse en tres categorías:

a) Datos básicos:

- localización;
- posición en relación con la vía;
- código de la señal;
- estado;
- operaciones de conservación necesarias;
- fecha de la última inspección/conservación.

b) Datos críticos:

- fecha de instalación;
- tamaño de la señal;
- clase de material reflectante;
- clase de refuerzo;
- tipo de sustrato;
- estado del sustrato;
- orientación de la señal;
- límite de velocidad.

c) Datos complementarios:

- distancia al borde de la calzada;
- altura;
- coeficiente de retrorreflexión;
- imagen de la señal;
- número de identificación;
- nombre del inspector;
- comentarios.

En las operaciones de obtención de la información necesaria para crear y actualizar los inventarios de señalización, se utilizan una serie de nuevas técnicas que abaratan los costes y mejoran la calidad de la información. Los terminales de GPS proporcionan automáticamente las coordenadas de situación de cada señal, mientras que la introducción de los datos de campo directamente en la base de datos se hace mediante unos terminales portátiles de ordenador con sistema de pantalla sensible, aparatos de medición automática de distancias, y cámaras fotográficas digitales que permiten asociar directamente las imágenes de la señal al registro en la base de datos. Toda esta información se gestiona mediante un sistema de información geográfico.

El Departamento de Transportes de New Jersey ha utilizado recientemente, con excelentes re-

En las operaciones de obtención de la información necesaria para los inventarios de señalización, se utilizan nuevas técnicas que abaratan los costes y mejoran la calidad de la información

sultados, un sistema de este tipo para elaborar el inventario de señalización de la red de carreteras estatal, que incluye 25 744 km con más de 150 000 señales (14). La explotación de este tipo de inventarios tiene una gran flexibilidad debido a las prestaciones del sistema de información geográfico. Las principales aplicaciones son las siguientes:

- programación de la conservación y renovación de las señales;
- identificación de problemas localizados: vandalismo, acumulación de accidentes con daños materiales, etc;
- obtención de información histórica sobre la señalización existente en un tramo de la red en una fecha determinada;
- planificación y presupuesto de las reposición de señales;
- optimización de las operaciones de conservación y reposición.

Referencias

1.- US Department of Transportation, "Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways", FHWA-SA-89-006, Federal Highway Administration, Washington DC, 1988.

2.- American Society for Testing and Materials, "Standard Specification for Retroreflective Sheeting for Traffic Control", D-4956-93, ASTM, Philadelphia PA, 1994.



Figura 8. Retroreflectómetro móvil para marcas viales. Detalle.

3.- Comité Europeo de Normalización, "Horizontal Signalisation Markings Applied on the Roads. Performance for Road Users", borrador prEN 1436, Bruselas, 1995.

4.- Paniati, J. y Mace, D., "Minimum retroreflectivity requirements for traffic signs", FHWA-RD-93-152, US Department of Transportation, Washington DC, 1993.

5.- Alexander, G. y Lunefeld, H., "Positive Guidance in Traffic Control", Federal Highway Administration, Washington DC, 1975.

6.- Perchonok, K. y Pollack, L., "Luminous Requirements for Traffic Signs, A Comparison of Sign Performance and Requirements", FHWA-RD-81-158, Federal Highway Administration, Washington DC, 1981.

7.- Bhise, V. et al, "Modeling Vision with Headlights in a Systems Context", Society of Automotive Engineers, No. 770238, 1977.

8.- Comisión Internacional de Iluminación, "An Analytical Model for Describing the Influence of Lighting Parameters upon Visual Performance", Publicación CIE 19/2.2, París, 1981.

9.- Freedman, M. et al, "Noticeability Requirements for Definition on Non-Illuminated Highways", FHWA-RD-88-028, Federal Highway Administration, Washington DC, 1988.

10.- Henry, J. Et al, "Service Life and Cost of Pavement Marking Materials", Pennsylvania Transportation Institute, University Park, PA, 1990.

11.- Attaway, R. y Adeleke, P., "Pavement Marking Materials Program", North Carolina Department of Transportation, Raleigh NC, 1990.

12.- King, E. y Graham, J., "Evaluation of Pavement Marking Materials for Wet Night Conditions", FHWA-NC-89-004, Federal Highway Administration, Washington DC, 1989.

13.- Pardillo, J. y Hatzel, P., "Laserlux Mobile Retroreflector Operational Testing Results", FHWA-SA-97-016, Federal Highway Administration, Washington DC, 1996.

14.- Cipollini, M., "Using GIS to better Manage Existing Transportation Facilities", Compendium of Technical Papers 1993, Institute of Transportation Engineers, 1993. ■

J. M. Pardillo Mayora (Profesional de Intercambio del Instituto Panamericano de Carreteras) y Peter J. Katzi, Oficina de Aplicaciones Tecnológicas de la "Federal Highway Administration" de EE.UU.