



3M Ciencia.
Aplicada a la vida.™



**Brillo en señales
de tránsito, desempeño
y seguridad del conductor**

Sinopsis:

Brillo en señales de tránsito, desempeño y seguridad del conductor

Fuat Aktan, PhD.
Gerente de Asuntos Regulatorios.
División de Seguridad Vial de 3M.
3M Center, Saint Paul, MN 55144.

Resumen

La visibilidad de las señales es crítica tanto para la seguridad vial como para la operatividad y la eficiencia de comunicación al conducir. Hay estudios recientes que analizaron los requerimientos de brillo de las señales de tránsito para poder adquirir la información de las señales de modo rápido y preciso. Los hallazgos indican que las señales de mayor tamaño y brillo permiten que el conductor adquiera la información más rápido. Asimismo, los programas que hacen una puesta en valor de las señales permiten suponer que es posible reducir la cantidad de accidentes mediante una mejora sistemática de las señales. Recientemente, en la ciudad de Albuquerque, en Nuevo México, ha habido una mejora de las señales de tránsito en diversos tramos viales de la ciudad. La ciudad está reemplazando todas las señales, distrito por distrito, lo cual permitió que los investigadores de Texas Transportation Institute (TTI) dispusieran sitios de control en el tramo intervenido (mejora de las señales). El estudio informa sobre la frecuencia de los accidentes no solo antes y después de la intervención en los distritos en los cuales se realizó la mejora de las señales, sino también en aquellos distritos en los que no se mejoraron las señales, que funcionan a modo de grupo de control. Los hallazgos mostraron que se observa la mejora de modo colectivo, como si se tratase de una intervención sistémica, las señales contribuyeron a impedir al menos 13 accidentes nocturnos en la totalidad de los tramos intervenidos.

Los organismos públicos de control vial desean mejorar la seguridad de sus representados y a la vez mantener una infraestructura vial rápida y eficiente. Las señales de tránsito son elementos importantes en la infraestructura vial y sirven para brindar información valiosa y oportuna a los conductores. Es sabido que solo reemplazar señales de tránsito para brindar información valiosa y oportuna no elimina los accidentes. Sin embargo, no brindar información oportuna y precisa a los conductores ciertamente causará graves problemas de eficiencia y, posteriormente, accidentes.

En las últimas décadas, una serie de estudios han investigado la oportunidad y la precisión respecto de la adquisición de la información brindada por las señales de tránsito. Como referencias alternativas a la medición de oportunidad y precisión, muchos de estos estudios investigaron la “distancia de legibilidad” o la “distancia de comprensión”, vale decir, la distancia a la cual el conductor puede leer y comprender las señales de tránsito. A menudo se plantea la hipótesis de que aumentar la distancia de legibilidad les da más tiempo a los conductores para comprender el mensaje de las señales y reaccionar cuando sea necesario. Por ende, resultó importante determinar la distancia a la cual una señal de tránsito se volvería legible por primera vez. No obstante, cuando se establecieron los umbrales de legibilidad, con frecuencia los investigadores no limitaron ni midieron el tiempo utilizado por un individuo para adquirir la información de las señales. Esa situación se traducía en tiempo con la vista apartada del camino al conducir y como tal, podía tener implicaciones de seguridad.

Más recientemente, un estudio de la Universidad de Iowa [1] analizó los tiempos de adquisición de la información de las señales de tránsito por parte de los conductores. Mientras que los estudios anteriores sobre la fijación visual del conductor demostraron que los conductores con frecuencia fijan los ojos en las señales durante varios segundos para leer las mismas, este estudio ofrecía información que relacionaba el tamaño de las señales y el brillo con el tiempo de adquisición de la información. Los hallazgos indican que aumentar el tamaño y/o el brillo de las señales reduce el tiempo de adquisición de la información. Los investigadores concluyen que la disminución del tiempo de adquisición de la información de las señales ayuda a explicar las mejoras de seguridad dado que los conductores pueden asignar más tiempo y atención a su tarea primaria de conducir.

Mientras que el estudio referido ofrece evidencias científicas fundamentales que indican que las señales más grandes y brillantes deberían ayudar a reducir la cantidad total de accidentes, cuantificar el efecto de tener señales más brillantes respecto de la disminución de accidentes en el campo presenta algunos desafíos. Los accidentes son relativamente inusuales y ocurren por un sinnúmero de razones. Alcanzar una masa crítica de datos con estadísticas sólidas que investiguen el efecto de un único factor aislado generalmente lleva muchos años de investigación, típicamente con un estudio de antes y después. Y en el curso de esos años, con mucha frecuencia se producen cambios que no se pueden controlar, por ejemplo: variaciones estacionales, cambios en los patrones y volumen de circulación, etc., lo cual puede alterar los índices de accidentes y dificultar el desarrollo de un “experimento controlado” y atribuir toda variación del índice de accidentes a un factor aislado como la puesta en valor de las señales. Un enfoque para superar estos desafíos es “observar” el efecto de los factores que no se pueden controlar en un “sitio de control” de iguales características, antes que intentar controlarlos para minimizar sus efectos. Más adelante, se pueden comparar las tendencias en el sitio de control con aquellas en el sitio intervenido para determinar los efectos de la intervención.

Un estudio reciente de TTI [2] ya había utilizado este enfoque. Investigaron el índice de accidentes de Albuquerque en tramos viales de la ciudad donde todas las señales fueron mejoradas con una lámina retro reflectante que cumple con la norma ASTM D49565 Tipo XI y los compararon con otros tramos similares de la ciudad designados como “tramos de control”. Los resultados indican que, en efecto, las señales más brillantes brindan beneficios en materia de seguridad.

Revisión de la bibliografía

La bibliografía sobre factores humanos está llena de hallazgos que comprenden desde los niveles fundamentales de luminancia psicofísica (brillo) que necesita el conductor para poder leer una señal en función de la tipografía, el contraste y otros factores, hasta a los estudios de campo que analizaron la dirección y duración de la mirada de los conductores mientras leen las señales en condiciones de manejo en el mundo real.

Necesidades de los conductores durante la noche en materia de luminancia de las señales

Los estudios sobre las necesidades de los conductores durante la noche, en materia de luminancia de las señales, pueden categorizarse en dos segmentos para el profesional: (1) nivel de umbral (o mínimo) y (2) nivel óptimo.

El nivel de umbral alude al nivel de luminancia para que el conductor modelo (es decir, el conductor del percentil 85) pueda comenzar a leer el mensaje de las señales. El nivel óptimo se refiere al nivel de luminancia en el cual el mismo conductor modelo puede leer las señales con relativa comodidad y sin esfuerzo.

La bibliografía es mucho más abundante sobre el nivel de umbral de luminancia y la distancia de legibilidad para el conductor modelo (es decir, el conductor del percentil 85 o medio, según sea la elección) y para una señal determinada. En caso de elegir el umbral de distancia de legibilidad como variable dependiente, se tomó un registro de la distancia a partir de la cual el conductor alcanzó a leer una señal con éxito en primer lugar. Las principales variables independientes en estos estudios fueron típicamente la luminancia de la leyenda de las señales o copia, el fondo de las señales, las fuentes tipográficas, el tamaño físico y la edad del conductor. La luminancia de las señales puede ser directamente controlada, o podría ser una función de múltiples variables distintas, tales como la localización de las señales, las luces delanteras del vehículo y el tipo de vehículo. Al estudiar el efecto de estas variables independientes sobre la distancia del umbral de legibilidad (la variable dependiente), los investigadores deseaban maximizar el umbral de distancia de legibilidad, y, por consiguiente, brindar más tiempo y distancia para leer una señal durante la noche.

Carlson y Hawkins [3] de TTI informaron los coeficientes federales mínimos de retro reflectividad actualmente en vigencia en EE.UU. para señales en uso y que aparecen en el Manual de Dispositivos Uniformes para el Control del Tránsito (MUTCD). Dichos coeficientes mínimos habían sido determinados mediante la detección de los niveles mínimos de luminancia requeridos para las diversas categorías de señales, usualmente en niveles que comprenderían a los conductores del percentil 50 con más de 55 años en EE.UU. Las distancias de legibilidad se consignan en el “índice de legibilidad”, que es la relación de la distancia de legibilidad respecto de la altura de la letra en las leyendas de las señales.

La distancia de legibilidad requerida ha sido, en la mayoría los casos, comparada con un índice de legibilidad de 40 pies por pulgada de altura de cada letra. Por ejemplo, una señal con letras de diez pulgadas de alto será legible a 400 pies, en tanto una señal con letras de dieciséis pulgadas de alto será legible a 640 pies. En el requisito del índice de legibilidad de 40 pies/pulgada, los hallazgos indican que las leyendas de las señales informativas necesitan una luminancia mínima de 2,3 cd/m² y de 3,2 cd/m² para los conductores del percentil 50 en EE.UU., para una franja etaria mayor a 55 años y 65 años respectivamente. Para abarcar un porcentaje mayor de conductores (es decir, los conductores modelo del percentil 98) con el mismo índice de legibilidad de 40 pies/pulgada, se deberá aumentar el nivel de luminancia de modo significativo, a saber: las señales elevadas deberán estar a más de 30 cd/m² y las señales con nombres de calles deberán superar los 38 cd/m². Se evaluó la luminancia requerida aumentando el brillo de las luces delanteras (y, por consiguiente, el brillo de las señales) de modo gradual y se analizó desde un vehículo estático.

No se limitó ni se midió el tiempo de adquisición de la información.

Necesidad de luminancia de las señales para una legibilidad óptima

Aktan y Schnell [4] compararon los niveles de umbral para determinar los niveles de luminancia óptima de las señales. Investigaron la luminancia del fondo de las señales, que iban desde 0.4 cd/m² hasta 300 cd/m² para señales con contraste positivo (leyenda más brillante que el fondo), y desde 10 cd/m² hasta 1200 cd/m² para las señales con contraste negativo (leyenda más oscura que el fondo) y los contrastes de luminancia desde 1 hasta 37. A determinado nivel de luminancia, el conductor del percentil quince (alto desempeño) podía leer la señal aproximadamente al doble de distancia que el conductor del percentil 85 (bajo desempeño). En las letras de la serie D para señales de autopistas, a 80 cd/m² de luminancia de fondo los índices de legibilidad para los conductores del percentil 15, la mediana y los conductores del percentil 85 rondaron los 60 pies/pulgadas, 45 pies/pulgadas y 30 pies/pulgadas respectivamente. Con una luminancia de 1 cd/m², los índices respectivos fueron aproximadamente 37 pies/pulgadas, 30 pies/pulgadas y 20 pies/pulgadas. La diferencia entre los índices de la legibilidad desde 1 cd/m² hasta 80 cd/m² sugiere casi un 50 % de mejora en las distancias del umbral de legibilidad. Los investigadores realizaron pruebas con luminancias de hasta 1.200 cd/m². Pese a que no observaron ningún impacto negativo, el aumento de la luminancia desde 100 cd/m² hasta 1.200 cd/m² solo brindó un 5 % adicional al índice de legibilidad. Los investigadores también descubrieron que se alcanzó la comodidad de legibilidad a casi el 75 % de la distancia del umbral de legibilidad. Estos investigadores emplearon un método similar al del estudio de TTI [3], en el cual los sujetos no tuvieron limitación de tiempo para leer las señales.

Schnell, Aktan y Li [5] investigaron los requisitos de luminancia durante la noche para la legibilidad de las señales viales que contenían símbolos. Estudiaron el efecto del contraste interno de las señales y la luminancia del fondo a la distancia umbral de legibilidad (traducida a ángulo de observación). Informaron sobre los dos patrones principales de legibilidad: en primer lugar, que el efecto del contraste en la legibilidad es significativo a bajo nivel de luminancia y, en segundo lugar, que la legibilidad de la tipografía en las autopistas analizadas mejoró al aumentar la luminancia de las señales. Al igual que en el estudio anterior, este estudio no limitó el tiempo de visualización.

Sivak y Olson [6] revisaron los estudios anteriores sobre factores humanos para determinar cuál es el requerimiento de luminancia óptima para señales viales. Descubrieron que la luminancia óptima de la lámina de las señales es de 75 cd/m² en el caso de señales con leyendas escritas en letras blancas.

Aktan y Burns [7] investigaron la luminancia real en varias señales de tránsito que tenían láminas desde ASTM D4956 Tipo I hasta ASTM D4956 Tipo XI, iluminadas por las luces bajas en el campo. Las señales en el camino estaban emplazadas del lado derecho, izquierdo y elevadas. El vehículo de prueba era un SUV y se utilizó un fotómetro CCD para medir las luminancias en la escena según lo observado por el conductor. Las luminancias observadas estaban típicamente debajo de 40 cd/m² para señales emplazadas a la derecha y debajo de 10 cd/m² para señales emplazadas a la izquierda.

Un estudio realizado por Bullough (et al.) [8] informó los niveles reales de luminancia de las carteleras con lámparas LED. Descubrieron que las luminancias midieron entre 150 cd/m² y 277 cd/m², con un promedio de 210 cd/m². Estas luminancias exceden ampliamente las luminancias típicas retro reflectantes de las señales de tránsito que observaron los conductores con iluminación de las luces bajas delanteras durante la noche según lo informado [7].

Tiempo de adquisición de la información contenida en las señales viales

Loftus y Ruthruff [9] investigaron el efecto de la luminancia y el tiempo de exposición en el desempeño de adquisición de la información mediante una prueba de lectura de números. Los resultados indican que una mayor luminancia produce una adquisición más rápida de la información. Descubrieron que a mayor duración de la exposición y/o la luminancia del texto, aumenta el índice de recuerdos correctos. Los individuos adquirieron la información con mayor rapidez con niveles de mayor luminancia comparados con niveles más bajos.

Schnell (et al) [1] analizaron el tiempo de adquisición de la información a partir de las señales de tránsito como una función del nivel de precisión (oportunidad de recordar la información correctamente), tamaño de las señales y luminancia de la leyenda de las señales. Este estudio aporta datos valiosos sobre los requisitos de tiempo de exposición de los conductores para poder leer con éxito el mensaje en una típica señal informativa.

Desarrollaron la hipótesis de que las señales más brillantes pueden llegar a los conductores con mayor eficacia, ya que aumentando la luminancia por sobre el umbral de legibilidad de $3,2 \text{ cd/m}^2$ podría producirse una adquisición más rápida de la información. Asimismo, formularon la hipótesis de que las señales más brillantes podrían brindar información más exacta cuando el tiempo de exposición era limitado.

Convocaron individuos de la franja etaria de 55 a 82 años, todos con licencias de conducir válidas en Iowa. La medida dependiente que utilizaron fue el tiempo de adquisición de la información, mientras que cambiaban las siguientes variables independientes: luminancia de la leyenda de las señales (5 niveles: $3,2 \text{ cd/m}^2$, 10 cd/m^2 , 20 cd/m^2 , 40 cd/m^2 y 80 cd/m^2), tamaño del texto (o índice de legibilidad en dos niveles: 33 pies/pulgadas y 40 pies/pulgadas) y precisión del percentil de las respuestas (dos niveles: 50 y 84 para precisión del percentil).

Emplearon señales informativas blanco-sobre-verde como estímulos al variar los niveles de luminancia presentados en un monitor de LCD calibrado fotométricamente. Los estímulos mostraron tres líneas de nombres de calles, todos compuestos por seis letras cada uno y nombres originarios de EE.UU., cada uno su número de salida correspondiente generado en forma aleatoria. En primer lugar, se informó al individuo el nombre de la calle y luego se le pidió que determinara el número de salida asociado con el nombre de esa calle en el estímulo de la señal subsiguiente. Los nombres de las calles en las señales utilizados fueron similares a la señal que aparece en la Figura 1. El tiempo de exposición fue limitado a cinco (5) segundos. Si el individuo no podía responder después de cinco segundos, el tiempo de respuesta se registró como cinco segundos, con la palabra "Fracaso" correspondiente.



Figura 1. Nombre de la calle propuesta y muestra posterior de la señal estímulo utilizada [1].

Los investigadores descubrieron que la luminancia, el índice de legibilidad y el percentil de precisión eran conjuntamente factores estadísticamente significativos que afectaban el tiempo de adquisición de la información. Observaron que algunos participantes tuvieron dificultades para leer la información, especialmente en los niveles más bajos de luminancia de $3,2 \text{ cd/m}^2$ y de 10 cd/m^2 en el índice de legibilidad de 40 pies/pulgadas. Casi la mitad de los participantes (9 de los 19) no pudo leer la señal a un nivel de luminancia de $3,2 \text{ cd/m}^2$. Cinco de los individuos no pudo leer la señal al nivel de luminancia de 10 cd/m^2 .

Las comparaciones por pares de los cinco niveles de luminancia demuestran que cada nivel de luminancia fue estadísticamente diferente en forma significativa (en $\alpha=0,05$) entre sí en términos del tiempo de adquisición de la información. Por ejemplo, aumentando la luminancia de 40 cd/m² a 80 cd/m² se redujo el tiempo de adquisición de la información, especialmente para el nivel más alto de precisión (índice más alto de comprensión de las señales). Muestra el diagrama de cajas para tiempo de adquisición de la información para un nivel de precisión del 84 %.

Los investigadores llegaron a las siguientes conclusiones:

- La luminancia más alta probada, 80 cd/m², permitió adquirir la información más rápido y por esa razón se requiere menos tiempo para lograr cierta precisión en la lectura.
- Si el tiempo de visión es limitado, tener una luminancia mayor de las señales y/o un tamaño mayor de las letras permite una lectura más precisa de las señales.
- Las señales de mayor tamaño tienen un efecto positivo en el desempeño de la legibilidad. Las señales de mayor tamaño mejoran el desempeño de transmisión de la información.
- Los tiempos de adquisición de la información se ven menos afectados por la distancia (o el tamaño de la letra) si la luminancia de las señales se mantiene en un nivel alto.
- La precisión de la transmisión de la información mejora con el aumento del tiempo de exposición.
- Disminuir los tiempos de adquisición de la información de las señales podría permitir dedicar más tiempo a la tarea primaria de manejo, que es un factor clave en la seguridad.

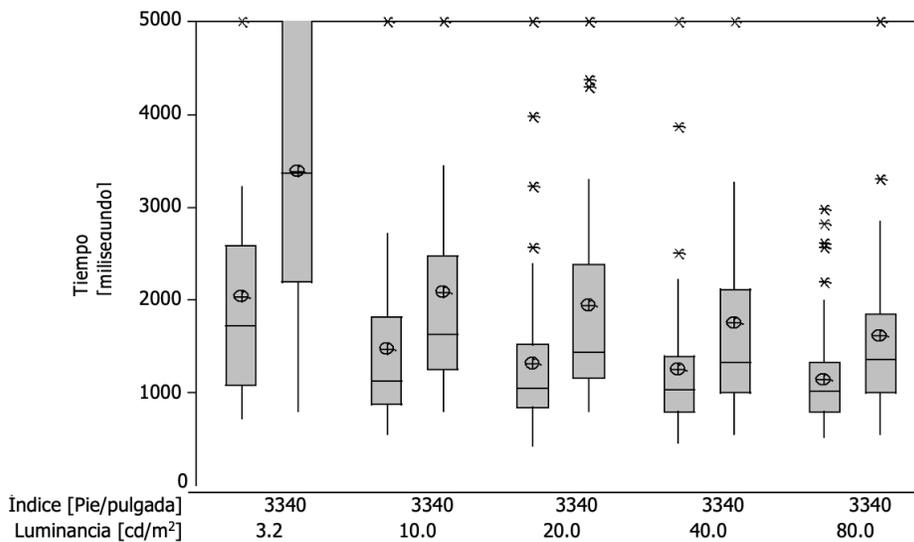


Figura 2. Tiempos de adquisición de la información en función del índice de luminancia y de legibilidad para proporcionar 84 % de respuestas correctas (adoptadas de [1]).

Luminancia y seguridad de las señales

La bibliografía técnica ofrece numerosos estudios del tipo comparativos que analizan los índices de accidentes antes y después de intervenciones para mejorar las señales viales. Mientras que diversos estudios muestran una reducción total de accidentes después de una mejora sistemática de las señales, la mayoría de estos estudios no toma en consideración los factores que no se pueden controlar, por ejemplo: las variaciones estacionales o los cambios en el volumen del tránsito a través de los años. Tomar en consideración estos factores externos, que no se pueden controlar y que son potencialmente significativos requiere del emplazamiento de un sitio de control.

Un estudio reciente realizado por Brimley (et al.) [2] de TTI, investigó el índice de accidentes en la ciudad de Albuquerque en Nuevo México, EE.UU. En este estudio, los investigadores pudieron identificar sitios de intervención y de control separados, mayormente similares, salvo que todas las señales de tránsito de los sitios intervenidos fueron mejoradas con el recubrimiento ASTM D4956 Tipo XI como parte de un plan de puesta en valor de las señales de la ciudad.

El índice de accidentes en los sitios intervenidos y de control de la ciudad de Albuquerque durante

		2011	2012	2013	2014
Ciudad Albuquerque.	Total de accidentes.	16,546	16,070	16,292	17,728
	Accidentes fatales y lesiones.	4,798	4,190	4,614	4,959
	Accidentes nocturnos.	2,529	2,462	2,612	2,943
	Accidentes fatales y lesiones durante la noche.	678	581	685	732
<hr/>					
Ciudad Albuquerque.	Total de accidentes.	293	256	242	304
	Accidentes fatales y lesiones.	88	67	87	78
	Accidentes nocturnos.	33	33	23	24
	Accidentes fatales y lesiones durante la noche.	8	8	11	7
<hr/>					
Ciudad Albuquerque.	Total de accidentes.	193	209	191	233
	Accidentes fatales y lesiones.	59	51	52	66
	Accidentes nocturnos.	22	20	17	23
	Accidentes fatales y lesiones durante la noche.	3	8	10	10

*Intervención hecha en 2013.

Tabla 1. Índices de accidentes en los sitios de control e intervenidos en Albuquerque, NM (Tabla adoptada de [2]).

La tendencia de accidentes en el tramo de control proporcionó valores de referencia para compararlos con el sitio intervenido, en cuanto a que si la intervención no tuviera impacto, la gente esperaría una tendencia similar tanto en el sitio intervenido como en el de control. Cuando se compara el total de accidentes en los tramos intervenidos y de control, las tendencias son similares. Sin embargo, los accidentes nocturnos no parecen moverse en tándem entre los tramos de control e intervenidos. Los investigadores notan que, en contraste con el notable aumento de los accidentes nocturnos en Albuquerque y en los tramos de control, los accidentes nocturnos en los tramos intervenidos permanecían bastante planos. Los investigadores también observaron una disminución de accidentes fatales y lesiones en los tramos intervenidos. No se pudo observar una disminución comparable en Albuquerque, ni en los tramos de control.

La Figura 3 ilustra la comparación entre los tramos intervenidos y de control en términos de accidentes totales y nocturnos.

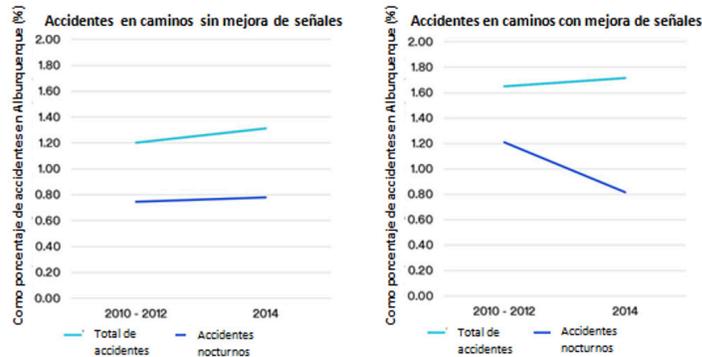


Figura 3. Comparación entre los tramos intervenidos y de control en términos de accidentes totales y nocturnos en [2].

Conclusiones

Los estudios recientes indican que la mejora sistemática de las señales con láminas de mejor calidad y más brillantes puede brindar notables beneficios para la seguridad del público al volante durante la noche. Uno de esos estudios publicado recientemente, analizó los índices de accidentes en los tramos de la ciudad de Albuquerque, Nuevo México. Como estos estudios en general llevan una cantidad considerable de años, las condiciones de los sitios de prueba pueden variar, lo cual podría impactar en la seguridad con independencia de la intervención. En este estudio, los investigadores identificaron los sitios de control para determinar las tendencias de los valores de referencia, lo cual posibilitó la comparación para aislar el efecto de la mejora de las señales donde todas las señales de tránsito en los tramos intervenidos fueron reemplazadas por señales con láminas retro reflectantes que cumple con el estándar ASTM D4956 Tipo XI. Los resultados muestran una mejora definitiva de la seguridad como consecuencia de la mejora de dichas señales.

Los estudios sobre los factores humanos más fundamentales indican que la mejora de la velocidad de transmisión de la información de las señales mediante el aumento del brillo puede ayudar a explicar tal mejora en la seguridad. Los investigadores argumentan que tener señales viales más brillantes, por encima de los niveles del umbral de legibilidad, posibilita que los conductores perciban la información con mayor rapidez y/o más precisión. Dado que las señales con mayor brillo cumplen su función primaria de proveer información con mucha más velocidad, los conductores pueden dedicar más tiempo a su tarea primaria de conducir y, por ende, se produce una mejora de la seguridad.

Muchos estudios anteriores sobre el factor humano que analizaban los niveles del umbral de legibilidad para leer las señales son igualmente valiosos a fin de determinar los puntos de umbral. Sin embargo, dichos niveles del umbral reflejan valores de referencia mínimos y están por debajo de los niveles que permiten la adquisición de la información de un modo rápido y confiable. Tales niveles se utilizan para establecer los niveles mínimos a la hora de reemplazar las señales, en vez de utilizarlos, a fin de garantizar el desempeño óptimo de las señales. La investigación indica que las señales viales cuya luminancia ronda los niveles óptimos aportan beneficios inmediatos de seguridad para los organismos de control y para los conductores por ser una mejora de seguridad simple y realizable. Observen la diferencia entre la lámina reflectante de Alta Intensidad Prismática y la de Grado DiamanteTM.

Referencias

1. Schnell, T., Yekhshatyan, L., Daiker, R., Konz, J., Effect of Luminance on Information Acquisition Time and Accuracy from Traffic Signs. Investigación aceptada para presentación y publicación, Transportation Research Record, Journal of the Transportation Research Board, 2008.
2. Brimley, B., Seyedeh, M. M., Carlson, P., Dixon, K., "Safety Effects of Traffic Sign Upgrades in Albuquerque, New México". Transportation Research Board, 96ta Reunión Anual, Washington, DC, del 23 al 27 de enero. Washington, DC: Transportation Research Board.
3. Carlson, P.J., Hawkins, H. G., Updated Minimum Retroreflectivity Levels for Traffic Signs. Julio de 2003, Texas Transportation Institute, Battelle Columbus Laboratories, Federal Highway Administration. p. 107 p.
4. Aktan, F., Schnell, T. Defining Threshold and Confident Legibility Contrast and Luminance Needs of Nighttime Drivers for Achromatic and Chromatic Signs. 17mo Simposio Bianual sobre visibilidad y dispositivos de control de tránsito, Transportation Research Board. 2005. Washington, DC: TRB.
5. Schnell, T., Aktan, F., Li, C., Traffic Sign Luminance Requirements of Nighttime Drivers for Symbolic Signs. Transportation Research Record No. 1862: Journal of the Transportation Research Board, 2004: p. 24-35.
6. Sivak, M., Olson, P. L., Optimal and Minimal Luminance Characteristics for Retroreflective Highway Signs. Expediente de Investigación de Vialidad nro. 1027, Journal of the Transportation Research Board, 1985: p. 53-57.
7. Aktan, F., Burns, D. M. (2008). In-The-Field and Modeled Luminance of Retroreflective Sign Sheetings. 87ma Reunión Anual, Transportation Research Board, Washington, D.C., TRB.
8. Bullough, J. D., Skinner, (2011). Luminance Criteria and Measurement Considerations for Light-Emitting Diode Billboards. Transportation Research Board, 90ma Reunión Anual, Washington, DC, enero 23-27. Washington, DC: Transportation Research Board.
9. Loftus, G.R., Ruthruff, E., A Theory of Visual Information Acquisition and Visual Memory with Special Application to Intensity-Duration Tradeoffs. Journal of Experimental Psychology: Human Perception